

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

VICTOR HUGO HOLZ

**Projeto e análise estrutural de um *trolley* para transporte de peças em linha de
pintura**

**Ibirubá
2023**

VICTOR HUGO HOLZ

Projeto e análise estrutural de um *trolley* para transporte de peças em linha de pintura

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Eng. Me. Jefferson Gauterio

Ibirubá

2023

HOLZ, Victor Hugo

Projeto e análise estrutural de um *trolley* para transporte de peças em linha de pintura /
Victor Hugo Holz, 2023.

Orientador: Prof. Eng. Me. Jefferson Gauterio

68 páginas, ilustrado

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica, Ibirubá 2023.

1 Projeto. 2 Melhoria. 3 Dimensionamento. 4 *Trolley*. 5 Indústria.

Projeto e análise estrutural de um *trolley* para transporte de peças em linha de pintura

Victor Hugo Holz

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 06 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Eng. Me. (orientador) Jefferson Gauterio
IFRS campus Ibirubá

Prof. Eng. Me. Giancarlo Stefani Schleder
IFRS campus Ibirubá

Prof. Eng. Dr. Adão Felipe Oliveira Skonieski
IFRS campus Ibirubá

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre me influenciaram nos estudos e que nunca mediram esforços para me apoiar.

Aos meus colegas de serviço que contribuíram cada um com um pouco de conhecimento e ajuda para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus professores atuais e aos que já passaram pela minha carreira estudantil, que foram os porta vozes para o adquirento de conhecimento.

Ao curso Técnico em Mecânica da mesma instituição, que mostrou a minha verdadeira vocação e permitiu a minha profissionalização e entendimento com mais facilidade das matérias durante o curso superior.

A minha namorada e companheira que sempre esteve ao meu lado desde o início do curso de Engenharia Mecânica.

RESUMO

O presente trabalho aborda a importância de meios de transporte em uma linha de pintura na indústria, que desempenha um papel crucial na fabricação de peças, especialmente antes da etapa de montagem. Para otimizar o processo e aumentar a rentabilidade, é essencial o uso de meios de transporte eficientes para movimentar as peças durante o processo de pintura. Os meios de transporte, como os *trolleys*, são essenciais para garantir um movimento suave e rápido das peças na linha de pintura. O trabalho se concentra no desenvolvimento e fabricação de um *trolley* robusto, baseado em cálculos, normativas, análise estrutural e soluções de engenharia. O projeto visa atender às crescentes demandas por peças maiores que exigem um *trolley* mais resistente para garantir o transporte seguro, rápido e rentável. Isso é especialmente importante devido a incidentes passados com *trolleys* menos robustos que resultaram em problemas de segurança e eficiência.

Palavras chave: Projeto. Melhoria. Dimensionamento. *Trolley*. Indústria.

ABSTRACT

This work addresses the importance of a painting line in the industry, which plays a crucial role in the manufacture of parts, especially before the assembly stage. To optimize the process and increase profitability, it is essential to use efficient means of transport to move the parts during the painting process. Means of transport, such as trolleys, are essential to ensure smooth and fast movement of parts on the painting line. The work focuses on the development and manufacture of a robust trolley, based on calculations, regulations, structural analysis, and engineering solutions. The project aims to meet growing demands for larger parts which require a more resistant trolley to ensure safe, fast, and profitable transport. This is especially important given past incidents with less robust trolleys that have resulted in safety and efficiency issues.

Key words: Project. Improvement. Sizing. Trolley. Industry.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	JUSTIFICATIVA.....	4
1.2	OBJETIVOS	5
1.2.1	Objetivos específicos	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS	6
2.2	MÁQUINAS DE ELEVEÇÃO DE TRANSPORTE.....	6
2.3	TROLLEY	7
2.4	ELEMENTOS DE MÁQUINA	8
2.4.1	Rolamento	9
2.4.2	Anel elástico	10
2.4.3	Rodízio	11
2.5	MATÉRIAS-PRIMAS	11
2.5.1	Ferro fundido nodular	12
2.5.2	Aço ASTM A572	13
2.5.3	Aço SAE 1045	14
2.5.4	Aço V MEC 134 AP	15
2.6	PROCESSOS INDUSTRIAIS	16
2.6.1	Têmpera e revenimento	16
2.6.2	Soldagem por arco elétrico	17
2.7	SOLIDWORKS SIMULATION E TENSÃO DE VON MISES.....	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS E PERCURSO	20
3.2	DIMENSIONAMENTO DO PROJETO	25
3.2.1	Dimensionamento do rolamento	25
3.2.2	Dimensionamento do rodízio	29
3.2.3	Dimensionamento do eixo	31

3.2.4 Conjunto Soldado.....	33
3.2.5 Dimensionamento do gancho	34
3.2.6 Dimensionamento do corpo.....	36
3.2.7 Conjunto Montado.....	39
3.2.8 Dimensionamento do conjunto montado	40
3.3 ANÁLISE DE TENSÕES.....	44
3.3.1 Análise de tensão do gancho.....	44
3.3.2 Análise de tensão do corpo	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1 COMPARAÇÃO DE DIMENSÕES <i>TROLLEY</i> ANTIGO X <i>TROLLEY</i> NOVO E LIMITANTES DE TRAJETO.....	48
4.2 DIMENSIONAMENTOS DE PROJETO	49
4.3 ANÁLISE DAS TENSÕES	50
4.4 EXECUÇÃO DO PROJETO	50
4.5 TESTES EM LINHA	55
5 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Em uma indústria voltada ao processo de fabricação de determinadas peças do seu início ao fim é imprescindível o emprego de uma linha de pintura, sendo o processo antecessor a montagem na maioria dos casos, portanto, para isso é necessário o emprego de meios de transporte para essas peças durante o processo de pintura das mesmas, legitimando um menor tempo de duração do processo e obtendo uma rentabilidade à indústria.

Os meios de transporte para uma linha de pintura são diversificados, podendo ser manuais ou automatizados, mas ambos dotados de um sistema com rodízios cujo movimento é sobre monovias.

Uma alternativa para o movimento de carga são os *trolleys*, cujo objetivo principal é mover cargas ao longo de trilhos em uma instalação industrial, fábrica ou armazém, tornando de forma eficiente o transporte de materiais.

O presente trabalho busca apresentar o desenvolvimento e fabricação de um *trolley* para transporte de peças em linha de pintura, utilizando como base cálculos e normativas para elementos de máquinas, análise estrutural, processos de fabricação e soluções de engenharia para resolver as necessidades.

1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o crescente aumento no tamanho de peças de implementos agrícolas, tornou-se fundamental a utilização de equipamentos de movimentação mais robustos que atendessem a demanda de produção dessas peças, portanto o presente projeto será voltado para os equipamentos utilizados no transporte dessas peças em linha de pintura, chamados *trolley*.

Um *trolley* mais robusto é capaz de transportar peças maiores e pesadas, com maior segurança, rapidez e facilidade, agregando rentabilidade para a empresa.

Ocorrência de incidentes com *trolleys* antigos, dentre eles o mais grave foi a queda de um chassi devido à quebra de gancho do próprio *trolley*, um incidente que não causou danos físicos aos trabalhadores. Outro problema encontrado foi a “abertura” do corpo do *trolley*, ocasionando um movimento desuniforme dos rodízios e gerando cargas axiais exageradas aos rolamentos.

Com o crescimento da empresa o seu portfólio de produtos próprios também foi aumentando e o desenvolvimento de um *trolley* com maior capacidade de carga possibilitará o

transporte dos seus componentes através do jato de granalha, cabine de pintura e cabine de estufa sem a utilização de outros artifícios incomuns ao processo atual.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver o projeto e análise estrutural de um *trolley* aéreo para a linha de pintura.

1.2.1 Objetivos específicos

Para alcançar os objetivos deste projeto será realizado os seguintes procedimentos:

- Dimensionar os componentes do *trolley*: dimensionar rolamentos, rodízios, eixo, gancho e corpo;
- Cálculos analíticos para os dimensionamentos;
- Desenvolver análise estrutural via *software*;
- Fabricação do projeto;
- Realizar o teste em linha;
- Validação do produto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos básicos relacionados ao tema de pesquisa. São apresentados conceitos sobre movimentação de cargas, *trolley*, elementos de máquinas, componentes principais do *trolley*, matérias primas, *software* de análise de tensões e as normas utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

2.1 MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS

A movimentação de cargas é uma técnica utilizada para levantar ou transportar determinados bens, geralmente por meio de máquinas ou equipamentos. Para PASSOS (2011) o principal objetivo é facilitar a armazenagem e movimentação de mercadorias, otimizando os processos de trabalho, que podem ser efetuados manualmente ou utilizando sistemas mecânicos.

Esta tecnologia está também essencialmente relacionada com a redução ou eliminação de riscos ergonômicos (esforço físico, atividades repetitivas, suporte de peso, etc.). Existem diferentes tipos de equipamentos para atender a essa necessidade, desde simples racks até guindastes pesados.

Para NOVIDÁ (2023), escolher as máquinas certas pode ser bastante difícil. Uma decisão errada pode levar a processos ineficientes, falhas de equipamentos e desperdício de recursos. Por isso, é necessário realizar um estudo logístico que analise qual produto precisa ser movimentado e qual superfície está livre para isso, esta é a única maneira de garantir a eficácia.

2.2 MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO DE TRANSPORTE

O objetivo do desenvolvimento e melhoria das máquinas de transporte é reduzir custos, aumentar a capacidade de produção e melhorar as condições de trabalho. Segundo PASSOS (2011), para alcançar uma boa eficiência, os equipamentos de elevação e transporte devem estar diretamente ligados às especificações técnicas de cada tipo de utilização.

As máquinas de elevação são projetadas para movimentos horizontais e verticais em fábricas, canteiros de obras e indústrias. Devido à variedade de máquinas de elevação e transporte atuais, sua classificação torna-se difícil, pois as tarefas podem variar dependendo do modo de movimentação e da finalidade do projeto.

Para PASSOS (2011), a utilização de equipamentos para elevação e movimentação de cargas traz diversas vantagens para a empresa que os utiliza, como:

- Redução dos custos de mão de obra;
- Redução de custos de materiais;
- Aumento da capacidade de produção;
- Crescimento da produção;
- Aumento da capacidade de armazenamento;
- Circulação aprimorada.

O autor também destaca algumas desvantagens e limitações destes dispositivos, como:

- Promove um investimento inicial muito grande, dependendo do objetivo;
- Necessita de um espaço amplo e adequado para trabalhar;
- Garantir o bom desempenho dessas máquinas exige habilidade do condutor.

PASSOS (2011) ainda destaca que os equipamentos de elevação também apresentam riscos para as cargas que se deslocam a grandes alturas, sendo o mais importante o risco de morte ou ferimentos graves em operadores por esmagamento devido a determinados fatores, tais como:

- Queda de cargas suspensas.
- Inclinação da estrutura
- Quebra de qualquer parte da máquina.

2.3 TROLLEY

O seu significado tem origem inglesa, sendo ele veículo que trafega sobre trilhos, com o avanço de tecnologias referente a pontes rolante o seu significado passou a ser cursor que trafega sobre as vigas horizontais, conforme SEMAN (2023).

A sua função primordial é mover cargas ao longo de trilhos em uma instalação industrial, fábrica ou armazém, tornando de forma eficiente o transporte de materiais. São projetados para trilhos que são instalados no chão ou estruturas elevadas (aéreo) da instalação que fornecem uma rota clara ou pré-determinada para o movimento do *trolley*. Esses trilhos podem ser retos, curvados, cruzados e ramificados, permitindo que o *trolley* se mova de forma eficiente em ambientes complexos, para isso ele precisa ter um dimensionamento que permita a passagem uniforme por esses trajetos variados.

Atualmente no mercado eles estão disponíveis com várias capacidades de cargas, desde modelos leves para transportar pequenas peças até modelos robustos capazes de transportar cargas pesadas. Os seus rodízios podem ser fabricados em nylon, aço ou fundidos, dependendo do dimensionamento e carga a ser aplicada, o tipo de rolamento a ser utilizado se torna importante quando se procura suavidade, menor atrito no transporte e que a carga não exerça forças transversais sobre os rodízios ou outros componentes.

Os *trolleys* podem ser operados manualmente, onde um operador empurra ou puxa o *trolley* com a carga ao longo dos trilhos, ou podem ser automatizados, usando sistemas que permitem o movimento autônomo.

Devido aos ambientes industriais serem altamente ricos em fatores que proporcionam a corrosão de materiais, é necessário que os rolamentos e demais componentes que compõem o *trolley* sejam protegidos.

A escolha de um *trolley* depende das necessidades específicas da indústria, das cargas a serem transportadas e do layout da instalação. Esses sistemas desempenham um papel fundamental na eficiência do transporte e nas operações industriais.

2.4 ELEMENTOS DE MÁQUINA

Os elementos de máquinas podem ser classificados em dois tipos, os elementos de fixação e elementos de transmissão.

Para FRANCESCHI (2014), os elementos de fixação promovem a união permanente ou móvel de determinados tipos de peças, na união permanente existe a disposição rebites e solda, já na união móvel há disponível parafuso, porcas, arruela, pino, chaveta, cavilha, etc.

Os componentes de fixação, sejam eles móveis ou permanentes, demandam uma precaução considerável no seu uso, uma vez que costumam ser os componentes mais frágeis da máquina. Portanto, ao projetar um sistema mecânico, é imprescindível selecionar com precisão o tipo de componente de fixação que se ajusta às peças a serem unidas ou fixadas. Por exemplo, se ocorrer a combinação de peças resistentes com elementos de fixação frágeis e mal planejados, o conjunto resultante será propenso a falhas, podendo tornar-se inutilizável. Isso causará o desperdício de tempo, recursos materiais e financeiros.

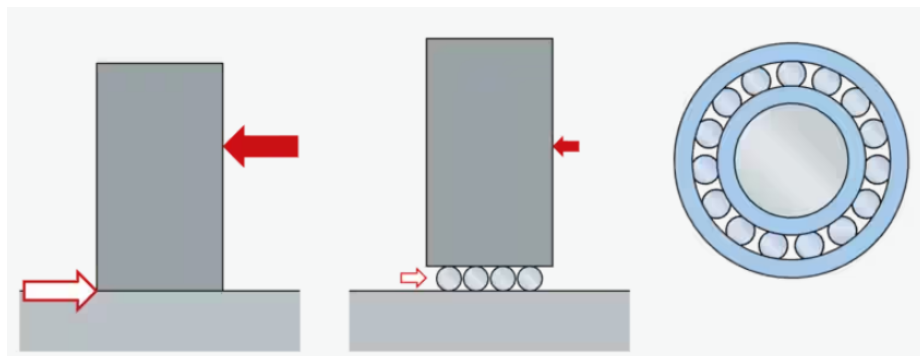
É igualmente crucial um planejamento cuidadoso na escolha dos elementos de fixação para evitar a concentração de tensões nas peças fixadas, essas tensões podem provocar a falha das peças devido à fadiga do material.

Os elementos de transmissão promovem a potência ou movimento de componentes de uma máquina, dos quais temos a disposição polia, engrenagem, correia, corrente e os elementos de apoio que são os mancais de rolamento e deslizamento.

2.4.1 Rolamento

São elementos de transmissão mecânica de apoio para rotação de uma carga. Carregam e suportam cargas para facilitar o deslocamento de um objeto, podendo ser cargas radiais e axiais. No ramo industrial tem a finalidade de apoiar movimentos e eixos em uma operação, sendo responsáveis pela movimentação de estruturas de elevação, esteiras e outras máquina de movimentação de engrenagens e de estruturas, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Ideia primordial de um rolamento



Fonte: SKF (2023)

Conforme NACHI (2007), podem ser disponibilizados em diferentes tipos, dentre eles, fixo de uma carreira de esferas, de contato angular de uma carreira de esferas, autocompensador de esferas, de rolo cilíndrico, autocompensador de uma carreira de rolos, autocompensador de duas carreiras de rolos, de rolos cônicos, axial de esfera, axial autocompensador de rolos, de agulha e com proteção.

Conforme SKF (2023), ao escolher os rolamentos para qualquer finalidade, você deseja alcançar o nível exigido de desempenho do equipamento necessário com o menor custo possível. A durabilidade também é muito importante, pois as condições sob as quais o seu equipamento é montado, utilizado e mantido podem não ser conhecidas com precisão e podem, na verdade, mudar com o tempo. Além da vida nominal do rolamento, fatores importantes que você deve considerar ao coletar especificações de rolamentos para uma aplicação que incluem:

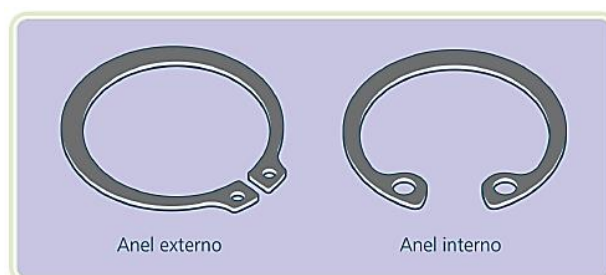
- Lubrificante e método de fornecimento;
- Ajustes do eixo e da carcaça;
- Classe de folga do rolamento;
- Material e orientação da gaiola;
- Estabilidade dimensional;
- Requisitos de precisão;
- Vedação de rolamento;
- Método de montagem e manutenção.

2.4.2 Anel elástico

Conforme FRANCESCHI (2014), o anel elástico, também chamado de anel trava ou anel de segurança, é um dispositivo mecânico que atua como elemento de fixação e é responsável por transferir a carga axial de componentes e peças fixas ao eixo. Além disso, também tem a função de limitar o movimento de uma peça ou conjunto deslizante. Desta forma, o anel elástico é visto como uma espécie de tampa ou arruela incompleta com furos.

O aço mola é o principal componente do anel elástico (Figura 2), conhecido por sua excelente durabilidade, resistência e flexibilidade para melhor desempenho do produto. É importante verificar a dureza do anel elástico, que deve ser sempre suficiente para os demais componentes que trabalham com a peça. As condições operacionais são controladas por vibração, choque, flexão, alta temperatura e atrito excessivo.

Figura 2 – Anel elástico



Fonte: Franceschi (2014)

Existem vários modelos de anéis elásticos no mercado que podem ser adaptados para diversas tarefas mecânicas. Portanto, o anel elástico é classificado de acordo com a forma de utilização, modelo de produção e normas técnicas. Os mais importantes são:

Anel elástico tipo E: indicado para eixos com diâmetros que variam de 4 a 1000 mm, para trabalhos externos, de acordo com a norma DIN 471;

Anel elástico tipo I: indicado para furos com diâmetros entre 9,5 e 1000 mm, para trabalho interno, segundo o regulamento DIN 472;

Anel elástico tipo RS: eixos com medição de diâmetro de 8 a 24 mm, para trabalho externo, de acordo com a norma DIN 6799.

2.4.3 Rodízio

Os rodízios de um *trolley* são fabricados conforme o formato da viga da monovia em que irão se movimentar, eles podem possuir duas abas laterais ou somente uma a fim de obter limite de deslocamento no sentido axial, podem ser retos abrangendo toda a sua área de contato com a viga ou podem possuir um formato angulado conforme o ângulo apresentando na viga.

O rodízio comumente utilizado em *trolley* está representado na Figura 3.

Figura 3 – Rodízio



Fonte: Schioppa (2020)

2.5 MATÉRIAS-PRIMAS

Neste tópico será tratado referente as matérias-primas diversas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho

2.5.1 Ferro fundido nodular

O ferro fundido nodular é uma liga composta de carbono e silício, possui o carbono livre (grafite) na matriz metálica, mas em formato esférico. Para CALLISTER (2014) essa forma de grafite melhora a durabilidade ao conferir ao material características que o aproximam do aço. A presença de esferas ou nós de grafite mantém uma boa usinabilidade e razoável estabilidade dimensional. Seu preço é superior ao do ferro fundido cinzento devido às estreitas composições químicas utilizadas neste material.

É utilizado na indústria para fabricar peças que requerem maior resistência ao impacto do que o ferro fundido cinzento e maior resistência à tração e ao fluxo, propriedade que o ferro fundido cinzento comum não possui à temperatura ambiente. Suas propriedades mecânicas incluem boa resistência à tração, tenacidade e ductilidade, conforme RESTREPO (1992).

Elementos como silício, magnésio, cromo, molibdênio e cobre, e a aplicação de tratamentos térmicos correspondentes teve um grande efeito na melhoria das propriedades mecânicas desses materiais, como rigidez e ductibilidade, tornando rentável o uso desses materiais em determinadas aplicações que antes eram limitadas aos aços de médio carbono.

O ferro fundido nodular é um material mais resistente, comparado ao ferro fundido cinzento, porém tem o custo mais elevado e apresenta em sua composição um alto teor de magnésio (0,035%-0,06%) em comparação ao ferro fundido cinzento.

Na Tabela 1 está representado as classificações dos ferros fundidos nodulares e suas propriedades mecânicas.

Tabela 1 – Propriedades Ferro Fundido Nodular

Classificação dos ferros fundidos nodulares, segundo a DIN

Classe	Limite de resistência à tração kgf/mm ² (MPa)	Limite de escoamento kgf/mm ² (MPa)	Alongamento (%)	Dureza Brinell	Módulo de elastic. kgf/mm ²	R2sist. ao choque kgf/mm ²	Resistência à flexão kgf/mm ² (MPa)
GGG-45	45 (440)	35 (340)	5	160/240	17.000	2	80/95 (780/930)
GGG-38	38 (370)	25 (250)	17	140/180	↑	10	75/90 (740/880)
GGG-42	42 (410)	28 (270)	12	150/200	16.500	8	80/90 (780/860)
GGG-50	50 (490)	35 (340)	7	170/240	a	6	85/100 (830/980)
GGG-60	60 (590)	42 (410)	2	210/300	18.500	4	90/110 (880/1080)
GGG-70	70 (690)	50 (490)	2	230/320		2	100/120 (1080/1180)

Fonte: DIN-1693 (1997)

A sua aplicação é em peças para veículos, engrenagens, pinhões, coroas, polias, roldanas, dutos, placas, mancais, suportes, cunha de fricção, etc.

Aplicações correspondentes a cada classe conforme CHIAVERINI (2002):

1 - Classe FE 38017/GGG 35.3/GGG 40.3: Empregada em válvulas e dispositivos para equipamento de vapor e da indústria química;

2 - Classe FE 42012/GGG 40: Componentes de máquinas sujeitos a cargas de choque e fadiga;

3 - Classe FE 50007/GGG 50: Virabrequins e engrenagens;

4 - Classe FE 60003/GGG 60: Cilindros de secagem de fábricas de papel;

5 - Classe FE 70002/GGG 70: Engrenagens e componentes de máquinas para suportar elevadas cargas;

6 - Classe FE 80002/GGG 80: Pinhões, engrenagens, etc.

2.5.2 Aço ASTM A572

Os aços ASTM A572 são produzidos para aços estruturais fortes e de baixa liga, aços de alta qualidade, aços estruturais com composição química e propriedades mecânicas garantidas. Recomendado para aplicações onde são necessárias altas propriedades mecânicas para manter boa tenacidade e soldabilidade.

Conforme a norma ASTM A572 (2007) a aplicação de chapas de aço ASTM A572 é voltada para a engenharia civil, engenharia mecânica e máquinas agrícolas. Esta especificação de aço ASTM A572 cobre os requisitos da norma para graus 42 [290 MPa], 50 [345 MPa], 55 [380 MPa], 60 [415 MPa] e 65 [450 MPa] de alta resistência e baixa liga nióbio-vanádio.

O aço-liga ASTM A572 deve atender ao teor exigido de nióbio, vanádio, titânio e nitrogênio. Estes são os valores permitidos para espessura e tamanho do produto. Os requisitos de resistência (incluindo limite de escoamento, resistência à tração e alongamento mínimo) e conteúdo de liga também são especificados.

Conforme AÇOSPORTE (2023) os aços ASTM A572 graus 42 e 50 apresentam melhores propriedades mecânicas do que outros aços. Quando esses aços são utilizados em espessuras ASTM A36, proporcionam uma certa “reserva técnica”. Isso não significa nenhum dano, pelo contrário, este excesso de espessura do metal pode ser visto como uma espessura sacrificial em caso de corrosão se a manutenção da pintura do componente de aplicação não for

realizada por qualquer motivo dentro dos prazos prescritos. A principal desvantagem é que os aços ASTM A572 custam um pouco mais que o ASTM A36.

2.5.3 Aço SAE 1045

Os aços são metais muito versáteis e úteis em negócios e indústrias em todo o mundo, contribuindo para a eficiência de muitos processos. Neste cenário, muitas ligas podem ser utilizadas para diversos fins, sendo o aço SAE 1045 um dos mais importantes e conhecidos.

Conforme a norma o aço SAE 1045 é um aço de baixa temperabilidade, ou seja, baixa penetração de dureza na seção transversal. Tem uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura. Geralmente é usado com dureza de 180-300 HB.

É uma liga de médio carbono com propriedades muito favoráveis, boa resistência mecânica, embora seja conhecido por sua boa usinabilidade e soldabilidade. Possui um teor de carbono de 0,45%, limite de elasticidade de 250 GPa, limite de escoamento de 310 Mpa, limite de resistência à tração de 560 Mpa e alongamento de 17%.

Conforme COOPERMETAL (2023), esse aço possui as seguintes características:

- Resistência e durabilidade: O aço SAE 1045 é conhecido por sua alta resistência mecânica, tornando-o ideal para aplicações industriais que exigem materiais com uma vida útil alongada;

- Versatilidade: O aço SAE 1045 possui propriedades mecânicas adequadas para diversas aplicações industriais, desde componentes de máquinas até estruturas metálicas. Sua versatilidade permite que seja utilizado em diversas áreas, como automotiva, construção, petróleo e gás;

- Usinabilidade: Este aço possui boa usinabilidade, o que significa que é fácil trabalhar com processos de usinagem como torneamento, retificação e furação. Isso o torna um material adequado para fazer peças complexas ou personalizadas;

- Disponibilidade: O material está amplamente disponível no mercado, o que facilita a disponibilidade e aquisição por fabricantes e indústrias. Sua ampla disponibilidade permite o planejamento e controle de estoque mais eficiente, além de garantir um fornecimento constante para as operações industriais;

- Padronização: O material segue normas e especificações técnicas estabelecidas, garantindo que as propriedades e características deste aço sejam consistentes. Isso facilita a

padronização dos processos industriais, o dimensionamento correto das peças e a qualidade dos produtos finais;

- Custo-benefício: O aço SAE 1045 oferece um bom equilíbrio entre custo e desempenho. É uma alternativa acessível às ligas mais avançadas, mas ainda oferece propriedades mecânicas adequadas para muitas aplicações industriais. Isso pode levar a menores custos de produção sem comprometer a qualidade do produto final;

- Soldabilidade: Este material possui boa soldabilidade, o que facilita a união de outros materiais com processos de soldagem como soldagem a arco elétrico, soldagem a laser ou soldagem por fricção. Isso proporciona maior flexibilidade no projeto e na fabricação de componentes. Aplicando um pré-aquecimento antes da soldagem ocorre uma influência positiva na penetração da solda, tal como, a tenacidade e ductibilidade da junta soldada tiveram um sensível aumento, por ter ocorrido uma taxa de extração de calor menor, influenciando no aumento do tamanho de grão na ZTA (Zona Termicamente Afetada).

É utilizado na fabricação de componentes de uso geral onde seja necessária uma resistência mecânica superior à dos aços de baixo carbono convencionais. Aplicado principalmente em eixos, pinos, cilindros, ferrolho, parafusos, grampos, abraçadeiras, pinças, pregos, vigas e etc.

2.5.4 Aço V MEC 134 AP

Este tipo de matéria-prima é um aço carbono com alto teor de manganês com aplicação para construções mecânicas. Possui uma metalografia com granulação fina e elevado limite de escoamento e resistência, possui também uma excelente usinabilidade e soldabilidade. Este tipo de tubo é indicado para a construção mecânica em geral, particularmente fabricação de peças sujeitas a esforços.

Conforme VALLOUREC (2019) este aço demonstra na usinabilidade um melhor desempenho na quebra do cavaco, possibilitando o aumento da velocidade de corte e conseqüentemente melhoria na produtividade, proporcionando também ainda um aumento na vida útil da ferramenta.

Suas altas propriedades mecânicas permitem fabricar componentes tubulares e peças onde a redução do peso são básicas e que adicionam desempenho as máquinas, equipamentos agrícolas e industriais.

Esse aço possui propriedades mecânicas representadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades VMEC 134AP

Propriedades Mecânicas garantidas do VMec134AP • VMec134AP assured mechanical properties				
Espesura de parede Wall thickness (mm)	Limite de escoamento Yield Strength (MPa)	Resistência à tração Tensile strength (MPa)	Alongamento Elongation (%)	Dureza Hardness (HB)
$P \leq 16$	345 min.	510 min.	22 min.	145 min.
$16 < P \leq 25$	335 min.	490 min.	22 min.	136 min.
$25 < P \leq 40$	325 min.	490 min.	22 min.	136 min.

Fonte: Vallourec (2019)

2.6 PROCESSOS INDUSTRIAIS

Neste tópico será tratado referente aos processos industriais de alteração estrutural de matérias-primas diversas utilizados para o desenvolvimento do trabalho

2.6.1 Têmpera e revenimento

O processo de têmpera, garante um aumento significativo na dureza do aço quando se forma a fase martensítica. Este tratamento utiliza choque térmico como parte do processo. O revenimento geralmente é feito após o processo de têmpera para ajustar a dureza às propriedades desejadas. O revenimento é um tratamento térmico cuja finalidade é reduzir a fragilidade do material devido ao resfriamento repentino da têmpera e as tensões devido à transformação martensítica.

Consiste em aquecer o material temperado a uma determinada temperatura e permanecer nessa temperatura por um determinado tempo. Depois vem o resfriamento, que geralmente ocorre no ar, mas em certos casos também pode ocorrer na água. Devido à excelente homogeneidade de temperatura, o tratamento em banhos de sal tem sido repetidamente recomendado.

Dependendo da temperatura, o revenimento apresentará aspectos diferentes, ocorrendo o seguinte, conforme (CHIAVERINI, 2006):

- Revenimento entre 250 a 300°C: zona de resistência ao choque e menor dureza. As tensões internas diminuem mais ainda pois nesta fase começa a surgir uma microestrutura mesclada de martensita e trostita, a dureza cai para 50 – 60 HRc.

- Revenimento entre 300 a 400°C: zona de melhor resistência ao choque. A recuperação da microestrutura metaestável promove elevada resistência ao choque e impactos, pois, com

dureza na ordem de 35 - 50 HRC, é ótima para aplicações de matrizes de estampos, punções, molas, etc.

- Revenimento entre 400 a 600°C: zona de aumento significativo de ductibilidade e menor dureza. Nesta faixa de temperatura ocorre a diminuição rápida da dureza, pois, a microestrutura predominante de sorbita com esferoidita deixa o material com tensões internas bem diminuídas, a dureza situa-se entre 15 a 35 HRC.

2.6.2 Soldagem por arco elétrico

Os Processos de Soldagem têm uma ampla gama de aplicações na indústria, sendo utilizados para unir diversos tipos de materiais, principalmente metais e suas ligas, por meio da fusão quase instantânea, seguida da solidificação dos componentes, quando submetidos a uma fonte de calor. Para PEIXOTO (2012) esses processos desempenham um papel fundamental na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas metálicas, atendendo a uma variedade de necessidades que abrangem desde pequenos componentes eletrônicos até grandes estruturas e equipamentos, como pontes, navios e veículos automotivos.

O processo de soldagem por arco elétrico é uma técnica que envolve a utilização de um eletrodo ou arame, que é um consumível responsável por transferir energia e fechar o circuito com as peças que estão sendo soldadas. Além disso, é necessário um material protetor para prevenir a oxidação e a contaminação do cordão de solda enquanto se encontra no estado líquido. Uma fonte de tensão e corrente é essencial, pois ela fornece a energia necessária para a fusão e alimentação do circuito de soldagem.

Diversos processos de soldagem por arco elétrico são amplamente utilizados na indústria. Para PEIXOTO (2012) alguns dos principais incluem:

Eletrodo Revestido: Neste processo, um eletrodo revestido é utilizado, e o revestimento serve tanto como consumível quanto como agente de proteção contra a oxidação e contaminação. A soldagem por eletrodo é utilizada na fabricação e montagem de diversos dispositivos e estruturas e pode ser utilizada em uma ampla variedade de materiais como aço inoxidável, ferro fundido, alumínio, cobre, níquel, etc.

TIG (*Tungsten Inert Gas*): Na soldagem TIG, um eletrodo de tungstênio não consumível é utilizado, e o arco elétrico é protegido por um gás inerte, como argônio, que impede a oxidação do material. Pode ser usado para praticamente qualquer metal e o processo pode ser manual ou

automático. É amplamente utilizado para soldagem de ligas de alumínio e aço inoxidável, onde a integridade da solda é extremamente importante.

MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas*): Estes processos utilizam um arame contínuo como eletrodo. No MIG, o gás de proteção é inerte, como o argônio, enquanto no MAG, o gás é ativo, como o dióxido de carbono (CO₂). O processo utilizado na soldagem do aço carbono geralmente proporciona bom acabamento, facilidade de uso, alta produtividade e baixo custo. No entanto, pode haver salpicos e respingos.

Arame Tubular: Similar ao MIG/MAG, mas em vez de um arame sólido, utiliza-se um arame tubular recheado com fluxo. Segmentos como naval e offshore (ex. petrolíferas), construção pesada, soldagem de perfis estruturais, reparo e manutenção.

Plasma: Nesse processo, o arco elétrico é concentrado em um jato de plasma, que é protegido por um gás inerte, para realizar a soldagem.

2.7 SOLIDWORKS SIMULATION E TENSÃO DE VON MISES

O *SolidWorks® Simulation*, representado na Figura 4, é um sistema de análise de projeto totalmente integrado ao *SolidWorks®*. Ele fornece soluções para análises térmicas, de tensão, frequência, flexão e otimização na mesma tela. O *SolidWorks® Simulation* usa solucionadores rápidos, permitindo resolver problemas complexos em seu computador. Isso encurta o tempo de comercialização dos produtos, o que economiza tempo e esforço na busca por soluções ideais.

Figura 4 – *SolidWorks Simulation*



Fonte: *SolidWorks* (2023)

Depois que o modelo estiver montado, é preciso ter a certeza de que ele funciona de maneira eficaz em campo. Na ausência de ferramentas analíticas, esta tarefa só pode ser realizada através de ciclos de desenvolvimento de produtos caros e demorados. O ciclo de desenvolvimento de produto geralmente consiste em:

- Construir o modelo;
- Construir um protótipo de design;
- Testar o protótipo em campo;
- Avaliar os resultados dos testes de campo;
- Modificar o projeto com base nos resultados dos testes de campo.

Este processo continua até que uma solução satisfatória seja encontrada. A análise ajuda a realizar as seguintes tarefas:

- Reduzir os custos simulando os testes de modelos em um computador em vez dos testes de campo que se tornam mais caros;
- Reduzir o tempo de lançamento do produto no mercado, o que reduz o número de ciclos de desenvolvimento;
- Melhorar os produtos testando-o rapidamente em diferentes conceitos e cenários antes de tomar uma decisão final, dando-lhe mais tempo para pensar em novos projetos.

Em um dos critérios de falhas gerados pelo *SolidWorks® Simulation* há o critério de tensão máxima de von Mises que é baseado na teoria de von Mises-Hencky, também conhecida como teoria da energia de cisalhamento ou teoria da energia de deformação máxima. Para SOLIDWORKS (2023), a tensão de von Mises é uma teoria que afirma que um material dúctil começa a escoar em um local onde a tensão de von Mises se torna igual ao limite de tensão. Na maioria dos casos, o limite de escoamento é usado como limite de tração. No entanto, o software permite usar a tensão máxima ou definir seu próprio limite de tensão.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limite}}$$

O limite de escoamento é uma propriedade dependente da temperatura. A temperatura do componente deve ser considerada no valor de limite de escoamento especificado. O fator de segurança local é calculado da seguinte forma:

$$\text{Fator de segurança (FOS)} = \sigma_{\text{limite}} / \sigma_{\text{vonMises}}$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

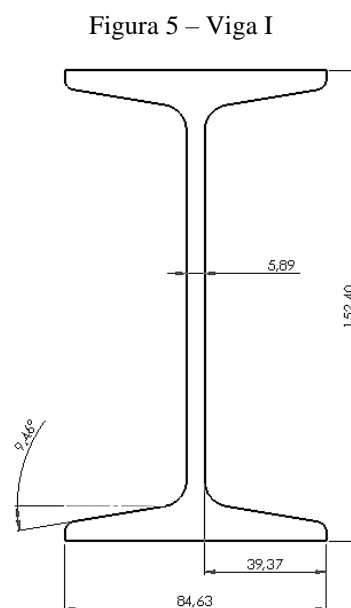
Para o desenvolvimento do *trolley* aéreo será utilizado o *software CAD (Computer Aided Design) Solidworks 2023*, onde serão realizadas também as análises de forças estáticas, que auxilia a ter uma representação tridimensional de objeto e determina pontos críticos a ruptura dos componentes que englobam o dispositivo e após aprovado o projeto, serão realizados todos os detalhamentos das peças e conjuntos neste mesmo *software*.

Durante a etapa de projeto será realizado o levantamento de dados referente ao trajeto em que o *trolley* irá realizar até o seu destino final a fim de obter limitantes para o dimensionamento e para a sua construção será considerado matérias-primas e métodos de fabricação já presentes dentro da empresa.

Na execução, será realizado o acompanhamento da construção do *trolley*, desde a fabricação de componentes, montagem e aplicação dos mesmos.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E PERCURSO

A viga utilizada para as monovias da linha pintura é do formato de seção transversal “I”, comumente utilizada em indústrias que possuem linha de pintura e transporte aéreo de componentes, essa viga possui as medidas conforme a Figura 5, cuja medidas são padronizadas pelo fabricante, sendo essa de bitola 6” fabricada pela Gerdau.



Fonte: autor (2023)

Portanto o formato que o rodízio deverá ter é angulado, para se ter uma maior área de contato com a superfície da viga.

Devido ao *trolley* ser aéreo é considerável a abertura de passagem das cabines de pintura e estufa, que possuem uma largura de 300 mm, conforme a Figura 6.

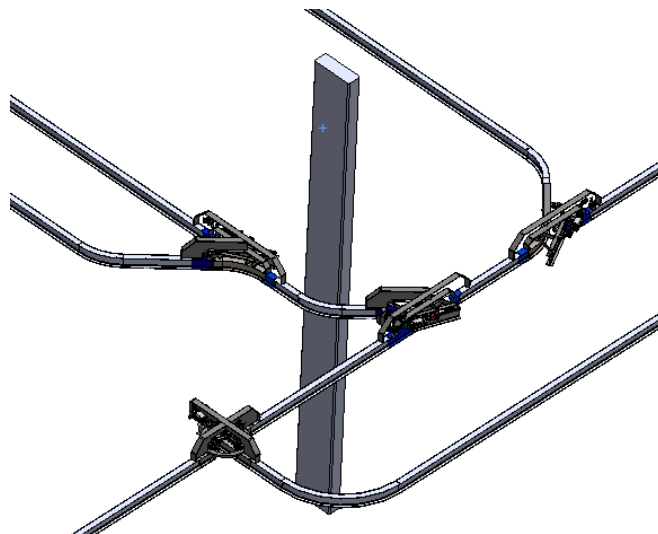
Figura 6 – Entrada cabines



Fonte: autor (2023)

Outra consideração feita foi referente aos sistemas de trocadores de direção das monovias ao longo do trajeto, representado na Figura 7.

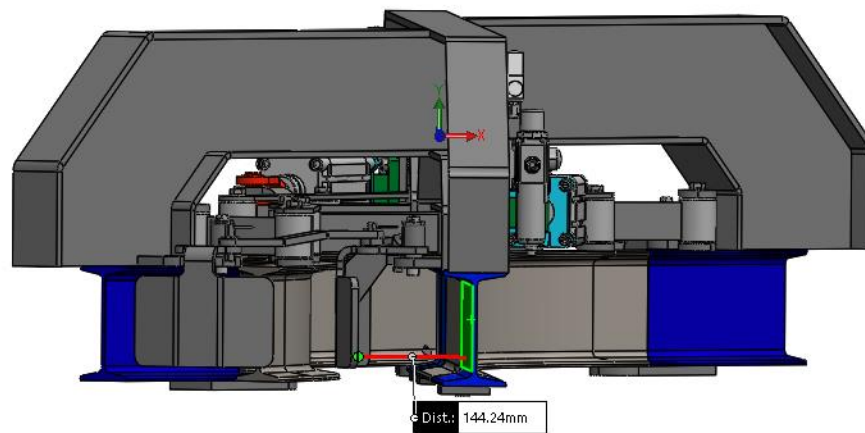
Figura 7 – Trocadores de direção de monovia



Fonte: autor (2023)

Esses trocadores possuem uma medida de distância de 144 mm até a parede interna da monovia, gerando um grau de liberdade de largura de 288 mm, conforme representado na Figura 8.

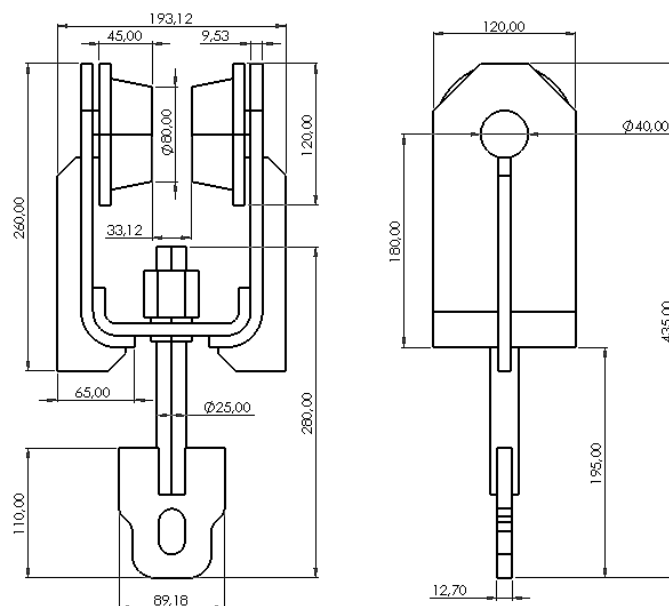
Figura 8 – Trocador de via



Fonte: autor (2023)

Uma das considerações importantes também é o *trolley* antigo utilizado pela empresa, que possui um peso de 13 kg e dimensões em milímetro conforme a Figura 9, sendo essas também consideradas para o projeto.

Figura 9 – Trolley antigo



Fonte: autor (2023)

Para os elementos utilizados para o içamento das peças, a empresa possui o método por correntes e manilhas, representado na Figura 10.

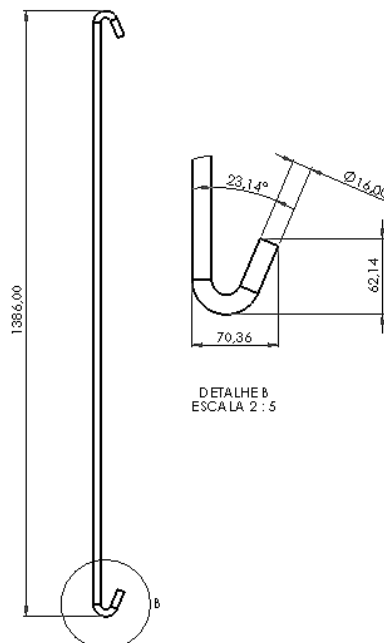
Figura 10 – Correntes



Fonte: autor (2023)

Outro elemento utilizado para o içamento de peças também são os ganchos em aço, suas medidas em milímetro estão representadas na Figura 11.

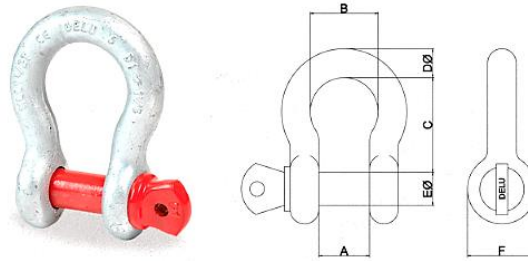
Figura 11 – Medida ganchos



Fonte: autor (2023)

As manilhas utilizadas para o içamento são do tipo curva pino roscado de grau 6 e bitola de 5/8", que possuem as medidas representadas na Figura 12.

Figura 12 – Medida manilha



BITOLA	A	B	C	ØD	ØE	F	G	CARGA DE TRABALHO	PESO
pol	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kgf	kg
1/4"	12	20	29	7	8	18	41	500	0,05
5/16"	13	21	30	8	10	21	45	750	0,09
3/8"	17	24	37	10	11	29	66	1.000	0,13
1/2"	20	34	47	12	16	32	68	2.000	0,32
5/8"	27	42	61	16	19	39	86	3.250	0,62

Fonte: Delu (2020)

A empresa possui uma gama de peças fabricadas e que juntas geram diversas cargas sobre os *trolleys*, sendo considerado ao projeto a maior carga obtida dentre as peças e conjuntos fabricados, sendo ela 2560 kg, obtida no módulo central de chassi de um dos implementos, por solicitação da empresa e disponibilidade futura, ao projeto foi definido com que ele tenha capacidade para suportar 3000 kg, atendendo assim futuramente peças ou componentes mais pesados.

Os *trolleys* utilizados atualmente por solicitação do processo da empresa, movimentam a peça em dois pontos de ancoragem, desse modo, cada *trolley* movimenta metade da massa da peça, foi observado pela empresa que a aplicação é desta forma para garantir o equilíbrio da peça içada, evitando desbalanceamentos, conforme representado na Figura 13, portanto para o projeto foi considerado a carga dividida em dois para a concepção de cálculos e dimensionamento do *trolley*.

Figura 13 – Método içamento



Fonte: autor (2023)

3.2 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

Neste tópico será apresentando os cálculos e métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto, utilizando considerações feitas a cima e referência de fornecedores. Será representado também o design elaborado a partir dos dimensionamentos.

3.2.1 Dimensionamento do rolamento

Para o dimensionamento de um rolamento, é importante primeiro determinar o tipo de carga a que ele estará sujeito, conforme MELCONIAN (2008) na carga estática o rolamento está parado ou sujeito a rotações <10 rpm, em carga dinâmica o rolamento está sujeito a rotações >10 rpm.

Conforme MASSAROPPI (2018), adaptando a ISO 281/I-1987, usa-se capacidade de carga C_0 (estática) para dimensionar um rolamento quando:

- Rotações muito baixas;
- Movimentos lentos de oscilação;
- Estacionário sob carga durante certos períodos;
- Em rotação contínua normal, atuam elevadas cargas de choque de curta duração;
- Para pré-seleção dos rolamentos.

Conforme MELCONIAN (2008) a carga estática equivalente (P_o) é uma possível carga resultante, definida como uma carga hipotética (radial para rolamentos radiais e axial para rolamentos axiais) que, quando aplicada, provocaria a mesma carga máxima de elemento rolante no rolamento em que uma carga real é aplicada. Ela é obtida com a equação:

$$P_o = X_o * Fr + Y_o * Fa$$

Onde:

P_o = carga estática equivalente [kN]; X_o = fator radial [adimensional]; Y_o = Fator axial [adimensional]; Fr = carga radial [kN]; Fa = carga axial [kN].

A capacidade carga estática (C_o) é a carga que produz uma deformação permanente e total no rolamento, determina-se que:

$$C_o = F_s * P_o$$

Onde:

C_o = capacidade de carga estática [kN]; F_s = fator esforços estáticos [adimensional]; P_o = carga estática equivalente [kN].

Os valores de referência para o fator de esforços estáticos (F_s) estão representados abaixo:

$$1,5 \leq F_s \leq 2,5 \text{ para exigências elevadas}$$

$$1,0 \leq F_s \leq 1,5 \text{ para exigências normais}$$

$$0,7 \leq F_s \leq 1,0 \text{ para exigências reduzidas}$$

Para MELCONIAN (2008) a capacidade de carga dinâmica (C) é a carga sob a qual 90% de um lote de rolamento alcança um milhão de rotações sem apresentar sinais de fadiga, e ela pode ser encontrada em tabelas que compõem os catálogos de rolamentos.

Ela é obtida através da equação:

$$C = (F_l / F_n) * P$$

Onde:

C = capacidade de carga dinâmica [kN]; P = carga dinâmica equivalente [kN]; F_n = fator de rotação ou velocidade [adimensional]; F_l = fator de esforços dinâmicos [adimensional].

A carga dinâmica equivalente (P) determina-se quando houver atuação simultânea de carga radial e axial no rolamento, ela é obtida através da equação:

$$P = x * Fr + y * Fa$$

Onde:

P = carga dinâmica equivalente [kN]; F_r = carga radial [kN]; F_a = carga axial [kN]; X = fator radial [adimensional]; Y = Fator axial [adimensional].

O rolamento a ser desejado é rígido de uma carreira de esferas por se tratar de um rolamento que possui baixo atrito e são otimizados para gerar baixo ruído e baixa vibração, o que permite altas velocidades de rotação, esse rolamento possuirá um diâmetro interno de 40 mm e externo de 68 mm, a sua temperatura de funcionamento é de até 80°C, sendo essa a temperatura utilizada nas estufas para secagem da pintura das peças.

Para encontrarmos a carga radial, basta dividir a carga total de içamento pelo número de rolamentos conforme a Equação:

$$F_r = F_{\text{máx}} / n^{\circ} \text{ de rolamentos}$$

Conforme descrito a cima a massa considerada para o projeto foi de 3000 kg e após a aplicação de manuseio de dois *trolley* por chassi encontra-se uma massa de 1500 kg para cada *trolley*. Em cada *trolley* terá a aplicação de 4 rolamentos, gerando uma carga de:

$$F_{\text{máx}} = 1500 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 14715 \text{ N}$$

$$F_r = 14715 \text{ N} / 4 \text{ rolamentos} = 3678,75 \text{ N}$$

A velocidade de rotação que esse rolamento estará submetido é de no máximo 10 km/h, conforme o permitido pela NR-11 para transportes de carga dentro de uma fábrica, essa velocidade gera uma rotação conforme a equação:

$$N = (60 / 2 * \pi * r) * v$$

Onde: v – velocidade [m/s]; r – raio externo do rolamento que se deseja [mm]

$$N = (60 / 2 * \pi * 0,034) * 2,78 = 780,8 \text{ Rpm}$$

O rolamento a ser escolhido é um 6008 DDU C3 da NSK, esse rolamento possui uma carga dinâmica básica de 17800 N.

Conforme o catálogo da NSK (2023), página A-25, o rolamento a 780,8 Rpm deverá possuir um coeficiente de rotação conforme a equação:

$$F_n = (0,03 * n)^{-1/3}$$

$$F_n = (0,03 * 780,8)^{-1/3} = 0,35$$

Nestas condições, o fator de esforços dinâmicos F_l será:

$$F_l = F_n * C / P = 0,35 * 17800 / 3678,75 = 1,69$$

Para um $F_l = 1,69$ encontra-se no gráfico do catálogo da NSK (2023), página A-26, uma vida nominal de $L_h = 2400$ horas.

O gráfico está representado na Figura 14.

Figura 14 – Gráfico dimensionamento de rolamento

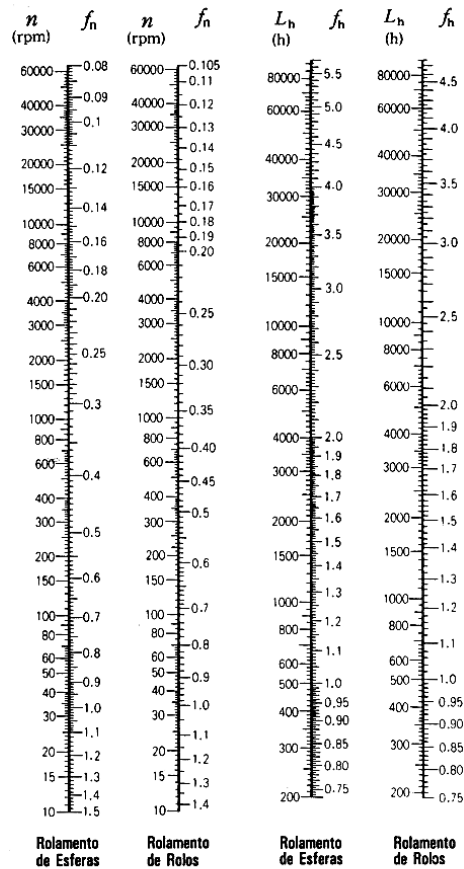


Fig. 5.3 Velocidade de Rotação e coeficiente de Velocidade

Fig. 5.4 Vida Nominal e Coeficiente de Vida

Fonte: NSK (2023)

A carga predominante é radial, portanto, foi adotado para carga estática equivalente $P_o = F_r = 3678,75$ N. Para a validação das cargas encontrou-se uma capacidade carga estática (C_o), considerando um $F_s = 1,5$ para exigências normais:

$$C_o = 1,5 * 3678,75 = 5518,12 \text{ N}$$

Sendo esse valor menor do que a máxima especificada pelo fabricante, $5518,12 < 11000$.

Conforme NSK (2023) o rolamento 6008 DDU C3 possui as seguintes características:

- Vedação integral prolonga vida útil do rolamento;
- Modelo simples, versátil e robusto;
- Baixo atrito e capacidade de alta velocidade;
- Suporta cargas radiais e axiais em ambas as direções;
- Requer pouca manutenção.

O desempenho do rolamento é representado na Figura 15.

Figura 15 – Desempenho rolamento

Modelo	Rígido de Esfera
Diâmetro Interno (d)	40 mm
Diâmetro Externo (D)	68 mm
Altura/Largura (B)	15 mm
Capacidade de Carga Estática (CO)	11 KN
Capacidade de Carga Dinâmica (C)	17.8 KN
Limite de Carga de Fadiga (Pu)	0.49 KN
RPM Limite	6300
Blindagem	DDU
Folga	C3

Fonte: NSK (2023)

Os rolamentos rígidos de esferas de uma carreira com vedações são versáteis, possuem baixo atrito e são otimizados para baixo ruído e baixa vibração, são fáceis de montar e solicitam menos manutenção do que outros tipos de rolamento (NSK, 2023). A vedação integral pode prolongar significativamente a vida útil do rolamento, pois mantém o lubrificante dentro dos rolamentos e os contaminantes fora, para o rolamento selecionado utiliza-se graxa como principal lubrificante, como essa graxa já vem aplicada de fábrica ao rolamento e devido por ele ser um rolamento DDU, capa de proteção em ambos os lados, elimina-se a necessidade de uma lubrificação constante ou periódica no rolamento.

3.2.2 Dimensionamento do rodízio

Após encontrado o rolamento a ser utilizado no projeto foi determinado as dimensões para o rodízio, sendo considerado a sua fabricação dentro da empresa devido a dimensões e matéria-prima específica, além disso o controle de qualidade dimensional. Para isso foram feitos os seguintes apontamentos de necessidade:

- Comportar 2 rolamentos 6008 – DDU C3;
- Ter ângulo de superfície reproduzido ao perfil da viga “I”;
- Ter aba de limitação para o deslocamento axial;
- Permitir a manutenção dos rolamentos e de si próprio.

Considerou-se também a cavidade para a montagem de anel elástico interno, do qual foi escolhido o anel elástico I-68 DIN 472, representado na Figura 16.

Figura 16 – Anel elástico interno



Fonte: Wurth (2023)

O anel elástico possui as seguintes medidas:

- Diâmetro interno: 62,1 mm.
- Diâmetro externo: 71 mm.
- Espessura do anel: 2,5 mm.

Conforme NACHI (2007) para o rolamento rígido de esferas de uma carreira, o anel externo de um dos rolamentos deve ser livre para mover-se axialmente, permitindo dilatação térmica, ou seja, a sua montagem no rodízio será por ajuste de folga.

Após as considerações feitas a cima, iniciou-se a modelagem do rodízio em *software CAD (Computer Aided Design)*, do qual se obteve a geometria representada na Figura 17.

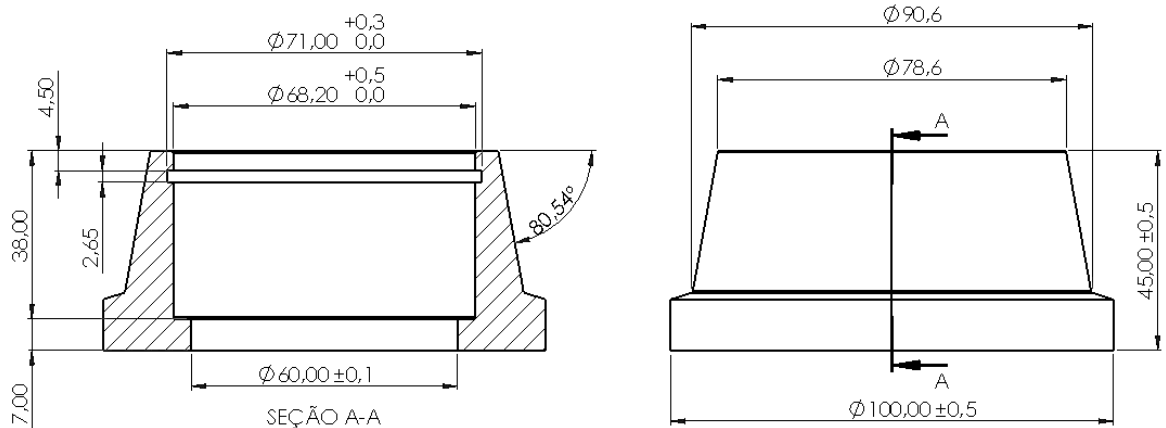
Figura 17 – 3D rodízio



Fonte: autor (2023)

O rodízio tem as suas medidas representadas na Figura 18.

Figura 18 – Medidas rodízio



Fonte: autor (2023)

A matéria prima utilizada para o rodízio foi o Fofu Nodular GGG-50, que possui propriedades mecânicas mencionadas no tópico 2.6 do referencial.

3.2.3 Dimensionamento do eixo

Conforme especificado a geometria do rolamento e rodízio, fez-se o dimensionamento do eixo no qual o rolamento será montado, para o diâmetro do eixo considerou-se a montagem por ajuste incerto. O travamento dos rolamentos no eixo foi feito por uma geometria de batente de um lado e do outro cavidade para anel elástico externo.

Foi utilizado o anel elástico E-35 DIN471, representado na Figura 19.

Figura 19 – Anel elástico E-35



Fonte: Wurth (2023)

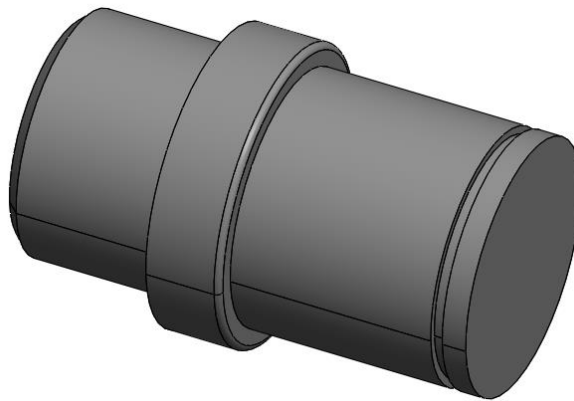
Este anel elástico possui as seguintes medidas:

- Diâmetro interno: 36 mm.
- Diâmetro externo: 42,2 mm.
- Espessura do anel: 1,75 mm.

Foi considerado que o eixo será soldado no corpo do trolley, devido as solicitações de carga, portanto foi necessário também estabelecer uma distância necessária para o cordão de solda.

Após as considerações feitas a cima, iniciou-se a modelagem do eixo em *software CAD* (*Computer Aided Design*), do qual se obteve a geometria representada na Figura 20.

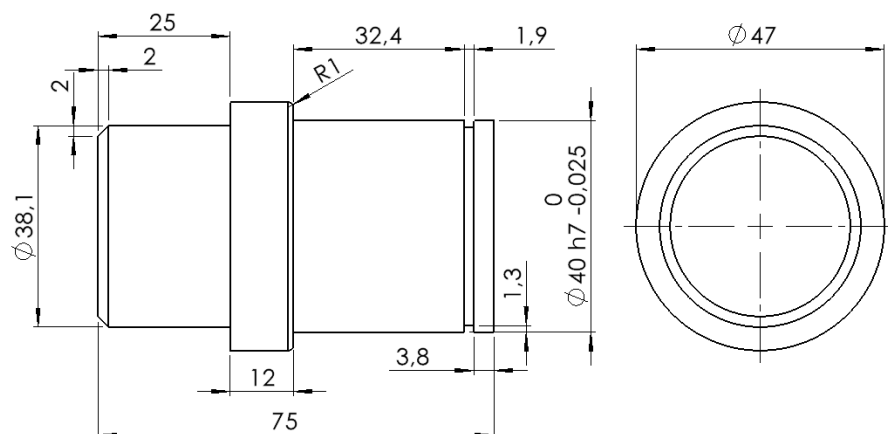
Figura 20 – 3D eixo



Fonte: autor (2023)

O eixo tem suas medidas em milímetro representadas na Figura 21.

Figura 21 – Medidas eixo



Fonte: autor (2023)

A matéria prima aplicada para o eixo foi o aço redondo trefilado Ø50,8 SAE 1045, que possui propriedades mecânicas mencionadas no tópico 2.8 do referencial.

3.2.4 Conjunto Soldado

É uma técnica muito utilizada na indústria de construção de equipamentos onde duas ou mais peças de aço são unidas por um processo de soldagem, resultando em uma estrutura forte e durável.

Esses conjuntos são formados por chapas que normalmente são cortadas em laser e podendo ser aplicado dobras as mesmas, os conjuntos podem ser formados também por eixos, tubos, buchas e até mesmo porcas específicas para soldagem. O posicionamento de peças pode ser facilitado por um método de encaixe por slot e aba, isso garante também a precisão de dimensão do conjunto após a sua soldagem, um exemplo desta técnica está representado na Figura 22.

Figura 22 – Exemplo conjunto soldado



Fonte: Polistampo (2016)

O conjunto soldado do *trolley* foi composto por chapas cortadas em laser e dobradas em ferramentas de conformação, além disso foi aplicado slots para facilitar o seu posicionamento e garantir seu dimensionamento. O processo de soldagem aplicado ao conjunto foi o *MIG* (*Metal Inert Gás*) e sem dispositivo para auxiliar a gabaritação.

3.2.5 Dimensionamento do gancho

Para o dimensionamento do gancho foi utilizado o aço redondo trefilado SAE1045 com diâmetro de Ø38,1 mm, conforme disponibilidade de matéria prima da empresa. O coeficiente de segurança utilizado foi 4, valor considerado para olhais de içamento e conforme análise representada por NORTON (2013) na Tabela 1-3 da página 19.

A massa aplicada ao dimensionamento foi de 1500 kg, sendo essa a limitante exigida para o projeto, esta carga exerce uma força sobre o eixo de 14715 N.

Conforme NORTON (2013), a equação utilizada para determinar o comprimento do eixo é:

$$\sigma_{esc} / F_s = F / A$$

Onde:

σ_{esc} = tensão de escoamento [MPa]; F_s = fator de segurança; F = força [N]; A = área [m²].

$$\sigma_{esc.min} = F * F_s * 4 / \pi * D^2 = 14715 * 4 * 4 / \pi * 0,0381^2 = 51,63 \text{ MPa}$$

Onde:

$\sigma_{esc.min}$ = tensão de escoamento mínimo [Mpa]; D = diâmetro [m].

Para o aço 1045 trefilado encontra-se uma $\sigma_{esc.min} = 565 \text{ Mpa}$, sendo este valor maior do que ao encontrado, tornando o diâmetro atendido.

Referente a deformação, as equações foram:

$$\varepsilon = \sigma / E = 51,63 / 200.000 = 2,58 \times 10^{-4} = 0,026\%$$

Para o aço SAE1045:

$$\varepsilon_{adm} = \varepsilon / F_s = 16\% / 4 = 4\% > 0,026\%$$

Ou seja, a matéria prima atende aos requisitos de deformação.

Da NBR ABNT 8800:2008 sabe-se que o índice de esbeltez para peças trefiladas não pode ser maior que 300.

$\lambda < 300$, $L / r < 300$ onde:

$$r = \sqrt{I / A} = \sqrt{[(\pi/64) * D^4 / (\pi/4) * D^2]} = D / 4$$

$$L / (D / 4) < 300$$

$$L < 300 * (D / 4)$$

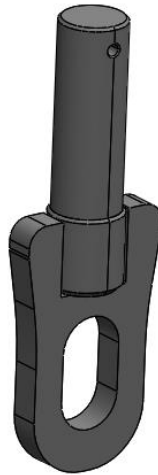
$$L < 300 * (0,0381 / 4)$$

$$L < 2,8575 \text{ m}$$

Sendo este valor considerado o limite para o comprimento efetivo do eixo, descartando partes soldadas e montadas ao eixo.

Após as considerações feitas a cima, sendo ela, comprimento efetivo e diâmetro de eixo, medidas gancheiras e manilhas, iniciou-se a modelagem do eixo em *software CAD (Computer Aided Design)*, do qual se obteve a geometria representada na Figura 23.

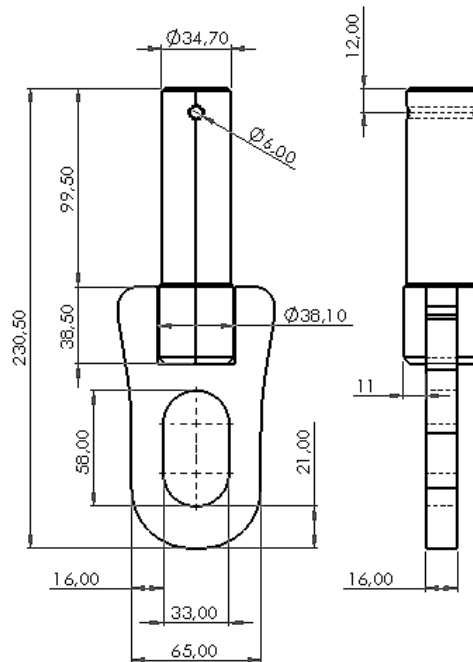
Figura 23 – 3D gancho



Fonte: autor (2023)

O gancho tem suas medidas em milímetro representadas na Figura 24.

Figura 24 – Medidas gancho



Fonte: autor (2023)

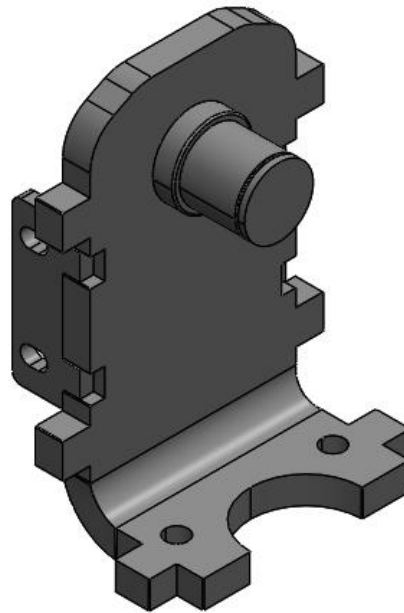
A matéria-prima utilizada para a chapa de olhal de espessura de 16 mm do gancho foi a ASTM A572 G50.

3.2.6 Dimensionamento do corpo

Conforme os dimensionamentos e considerações feitos a cima, pode-se realizar o desenvolvimento do corpo para o trolley, para isso utilizou-se chapas em ASTM A572 G50 com aplicação de dobra e slot para o posicionamento no processo de soldagem e montagem.

O design do corpo deverá permitir a desmontagem do mesmo para manutenções e reposições de peças, considerando isso iniciou-se a modelagem do corpo em *software CAD* (*Computer Aided Design*), do qual se obteve para a estrutura lateral a geometria representada na Figura 25.

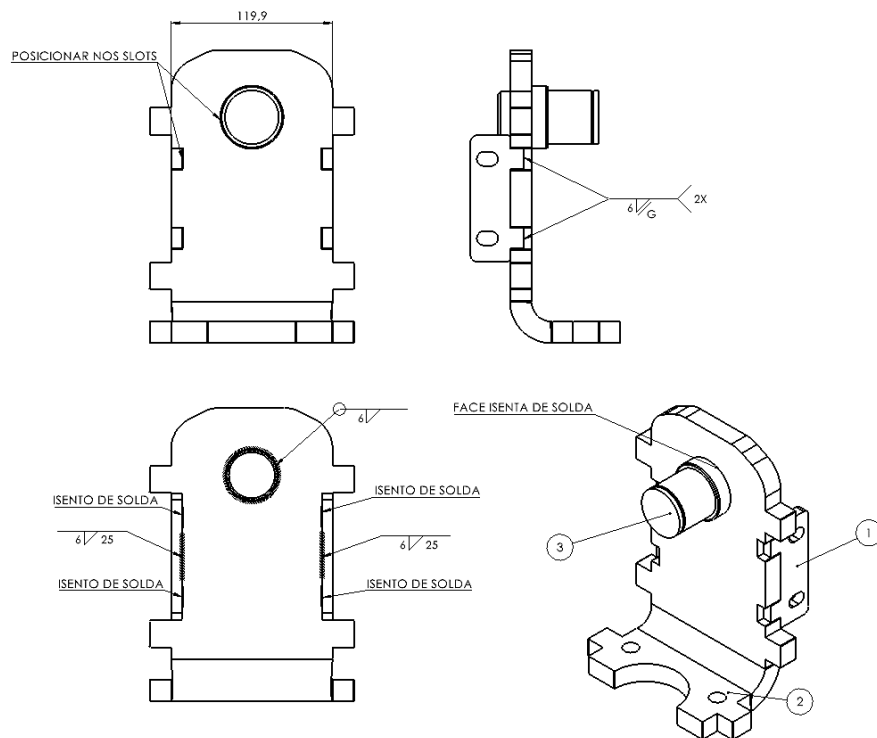
Figura 25 – 3D corpo



Fonte: autor (2023)

Para essa estrutura lateral do corpo utilizou-se chapa de espessura 12,7 mm, com slots para soldagem e montagem e nesta estrutura aplicou-se o eixo dimensionado a cima. Na Figura 26 estão destacadas as dimensões em milímetro e as regiões onde será aplicado os cordões de solda.

Figura 26 – Região de solda

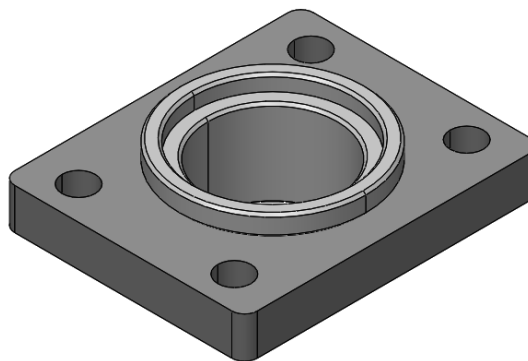


POS	REFERÊNCIA	REV	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL
1	I9501100157	00	2	CH. UNIÃO ABA+ALMA TROLE	11010445 - CH GROSSA 8,0 mm ASTM A572 G50
2	I9501100162	00	1	CH. ABA LATERAL TROLE	11010444 - CH GROSSA 16,0 mm ASTM A572 G50
3	I9501100163	00	1	EIXO RODIZIO TROLE	13020193 - AÇO RED TREF 50 SAE 1045

Fonte: autor (2023)

Para a base do gancho foi desenvolvido um conjunto soldado de chapa de espessura de 12,70 mm e uma bucha em matéria-prima de TUBO MEC LAM 73 x 17 AP134. Essa base permitirá com que o gancho realize o seu movimento de rotação, o seu design está representado na Figura 27.

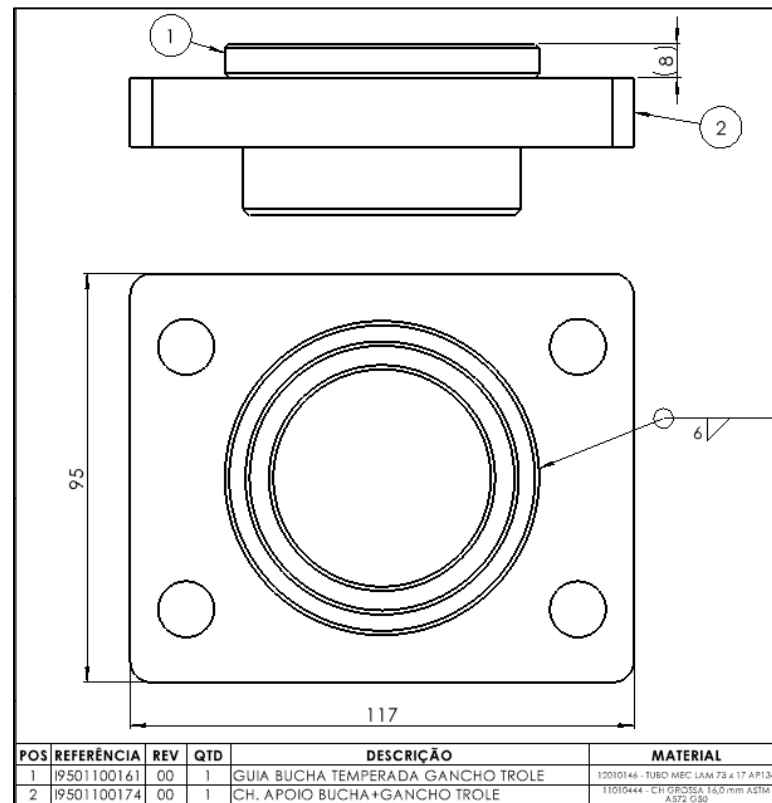
Figura 27 – Base gancho



Fonte: autor (2023)

As dimensões em milímetro e a região onde será realizado o cordão de solda estão representadas na Figura 28.

Figura 28 – Região solda base gancho



Fonte: autor (2023)

3.2.7 Conjunto Montado

Os conjuntos montados podem ser formados por conjuntos soldados e elementos de máquinas dos quais mais comumente utilizados são os parafusos, porcas, arruelas, buchas, pinos elásticos, chavetas, etc.

Assim como nos conjuntos soldados o método de posicionamento por slot e aba também facilita o encaixe das peças e conjuntos, legitimando uma maior precisão de medidas de montagem e podendo também ser limitantes para evitar a “abertura” do conjunto.

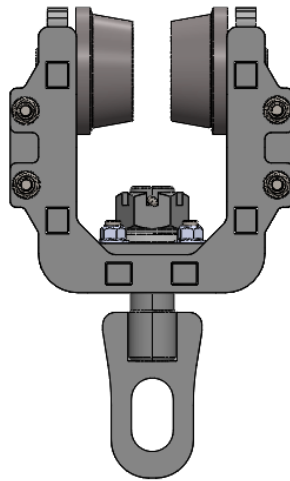
O conjunto montado do *trolley* foi composto pelos conjuntos soldados elaborados a partir de chapas e eixos, utilizou-se como elementos de máquinas parafuso, porca, arruela, pino elástico e anel elástico.

Para tornar possível o movimento do *trolley* foi aplicado ao conjunto montado os rodízios e rolamentos

3.2.8 Dimensionamento do conjunto montado

Após realizado todos os dimensionamentos de componentes do projeto foi realizado o design de montagem dos mesmos no *software CAD (Computer Aided Design)*, do qual obteve-se a geometria representada na Figura 29.

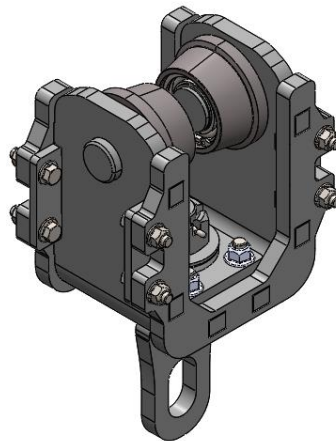
Figura 29 – Conjunto montado



Fonte: autor (2023)

A vista isométrica do conjunto está representada na Figura 30.

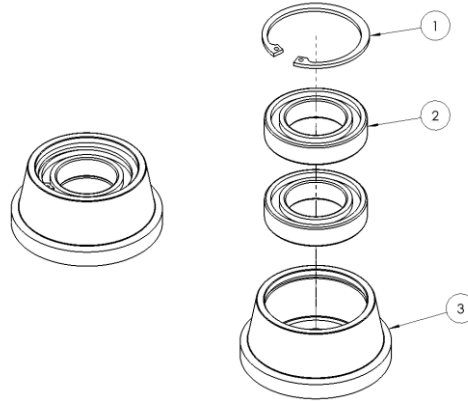
Figura 30 – Conjunto montado



Fonte: autor (2023)

O 1º passo de montagem será do conjunto do rodízio e rolamentos, representado na Figura 31.

Figura 31 – Montagem rolamentos e rodízio

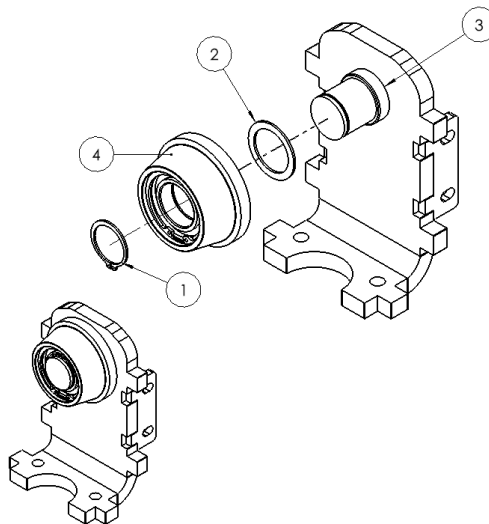


POS	REFERÊNCIA	REV	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL
1	22040231	-	1	ANEL ELASTICO I-68 DIN 472	-
2	23020191	-	2	ROLAMENTO 6008 2RS	ITEM COMPRADO
3	19501100038	00	1	RODA	Foto NODULAR GGG-50

Fonte: autor (2023)

O 2º passo de montagem será do conjunto soldado da estrutura lateral e o conjunto montado do rodízio, representado na Figura 32.

Figura 32 – Montagem rodízio e estrutura lateral

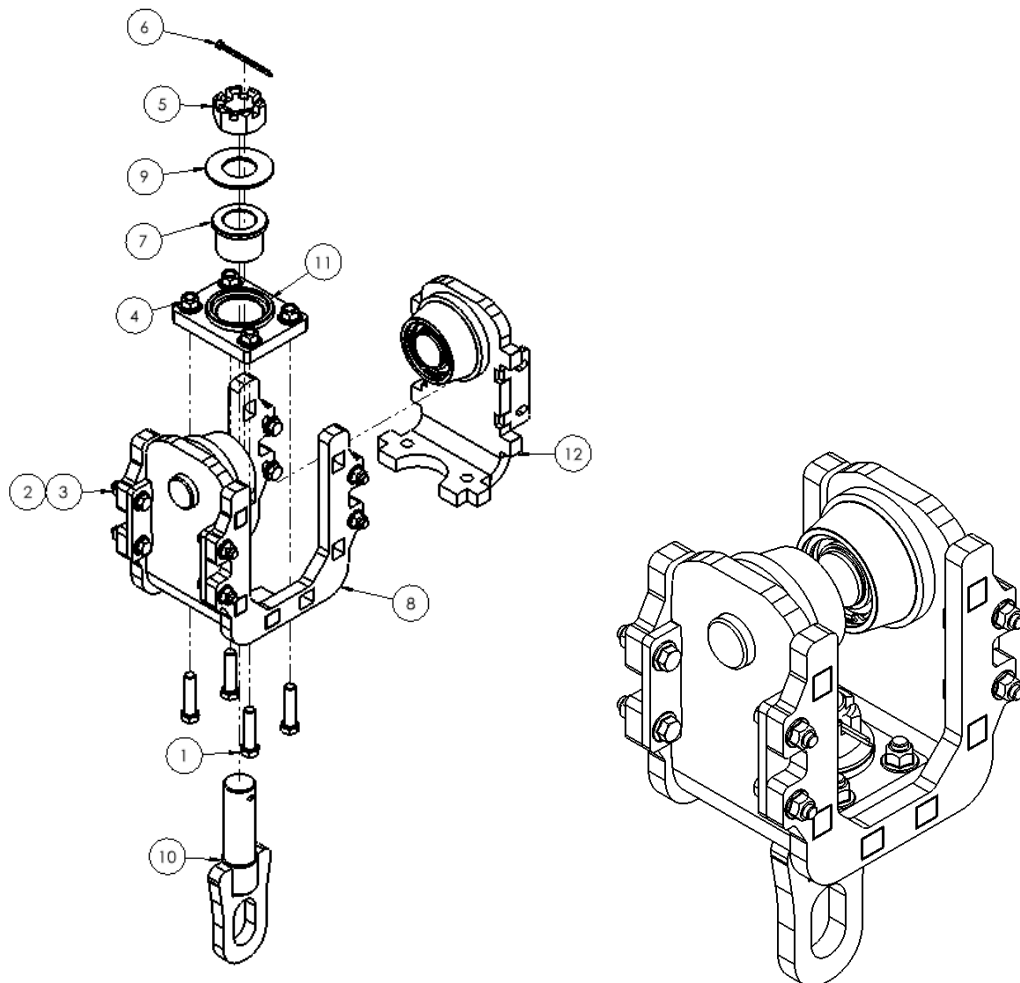


POS	REFERÊNCIA	REV	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL
1	22040262	-	1	ANEL ELASTICO E-12 DIN471	-
2	19501100164	00	1	ARRUELA 54X41X2 MM	11010121-CHAPA FINA QUENTE 2,00 mm 1200x3000 ASTM A36
3	19501200033	00	1	CJ SD ABA LATERAL TROLE	-
4	19501300027	00	1	CJ MT RODIZIO	-

Fonte: autor (2023)

O 3º passo de montagem é do conjunto final, representado na Figura 33.

Figura 33 – Montagem final

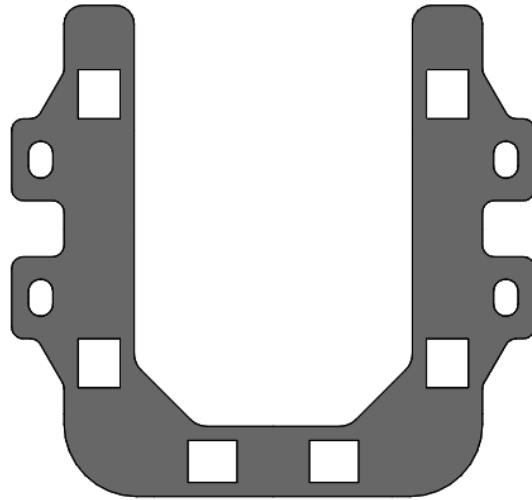


POS	REFERÊNCIA	REV	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL
1	21010121	-	4	PARAFUSO SEXT M12x1,75x50 CL 8.8 RP DIN 931	-
2	21012055	-	8	PARAFUSO SEXT. FLANGEADO M10 X 1,5 X 40 CL 8.8 RT DIN6921 ZFP	-
3	21020235	-	8	PORCA SEXT. AUTOT. FLANGEADA M10x1,50 CL8 DIN 6926 ZFP	-
4	21020236	-	4	PORCA SEXT. AUTOT. FLANGEADA M12x1,75 CL8 DIN 6926 ZFP	-
5	21020403	-	1	PORCA CASTELO 1 3/8" X12FPP ANSI B18.2.2	AÇO SAE 1045
6	22020110	-	1	CONTRAPINO ACO Ø3/16"X2.3/4" DIN 94 ZN FE	-
7	19501100121	00	1	BUCHA TEMPERADA	12010150 - TUBO MEC LAM 62 X 36 {63,5X32,3} DIN ST 52 VMEC 134 AP
8	19501100159	00	2	CH. ALMA REFORÇO TROLE	11010444 - CH GROSSA 16,0 mm ASTM A572 G50
9	19501100175	00	1	ARRUELA DESGASTE GANCHO TROLE	11010247 - CH FINA QUENTE 3,00 mm X 1500 X 3000 ASTM A572 G50
10	19501200027	00	1	GANCHO	-
11	19501200039	00	1	CJ SD BASE GANCHO TROLE	CJ SD
12	19501300028	00	2	CJ MT ABA LATERAL+RODÍZIO	-

Fonte: autor (2023)

O item que realizará a união e reforço das laterais está representado na Figura 34, para este item foi utilizado uma chapa de espessura de 16,00 mm.

Figura 34 – Chapa união

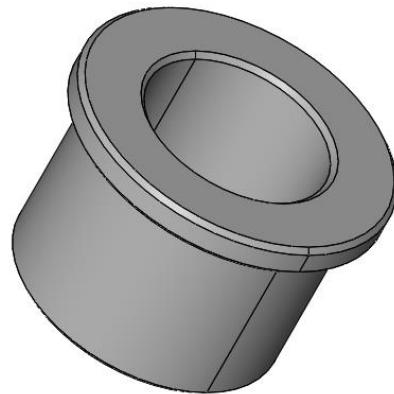


Fonte: autor (2023)

Para permitir o movimento de rotação do gancho foi desenvolvido uma bucha com matéria-prima de TUBO MEC LAM 62 X 36 (63,5X32,3) DIN ST 52 VMEC AP134 e aplicado a ela um processo de têmpera e revenimento, para aumentar a sua dureza e resistência ao desgaste.

O design da bucha está representado na Figura 35.

Figura 35 – Bucha cementada



Fonte: autor (2023)

3.3 ANÁLISE DE TENSÕES

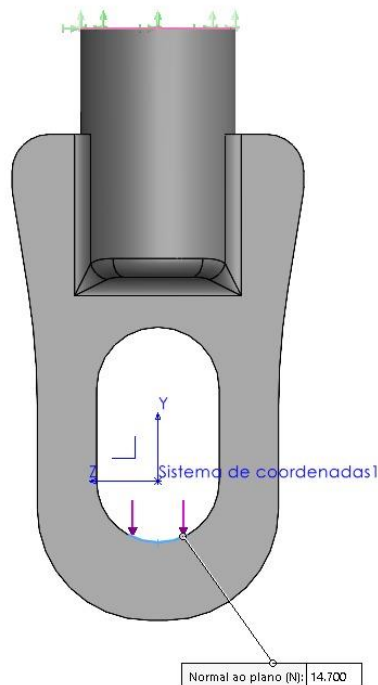
Neste tópico será apresentado as análises de tensão nos componentes importantes do *trolley*, sendo eles compostos por chapas metálicas e que estão submetidos diretamente ao empuxo.

3.3.1 Análise de tensão do gancho

Após definido o dimensionamento do gancho foi realizado a sua análise de tensão no *software CAD (Computer Aided Design) Solidworks Simulation 2023*, sendo aplicado uma sollicitação de carga de 1500 Kgf, cuja massa gera uma força de tensão de 14715 N. A matéria-prima aplicada a chapa do gancho é a ASTM A572 G50 que possui uma resistência à tração de 345 Mpa, após definido para o gancho um coeficiente de segurança de valor 4, a resistência passa a ser 86,25 Mpa para esta análise.

O método de aplicação da carga e engaste está representado na Figura 37.

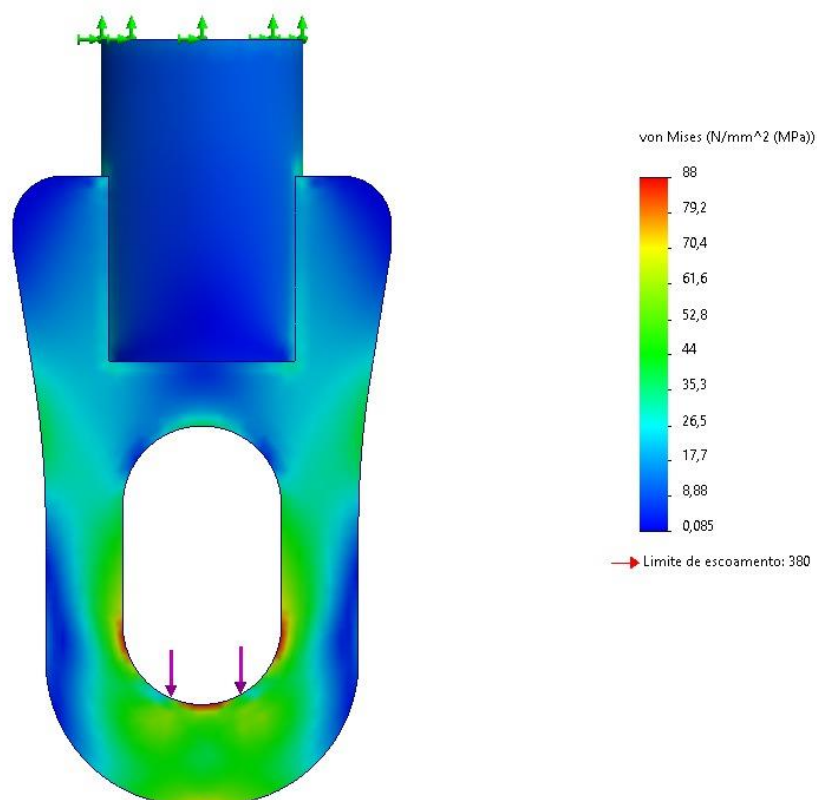
Figura 37 – Carga e engaste



Fonte: autor (2023)

O gráfico de tensões de Von Mises está representado na Figura 38.

Figura 38 – Gráfico Von Misses

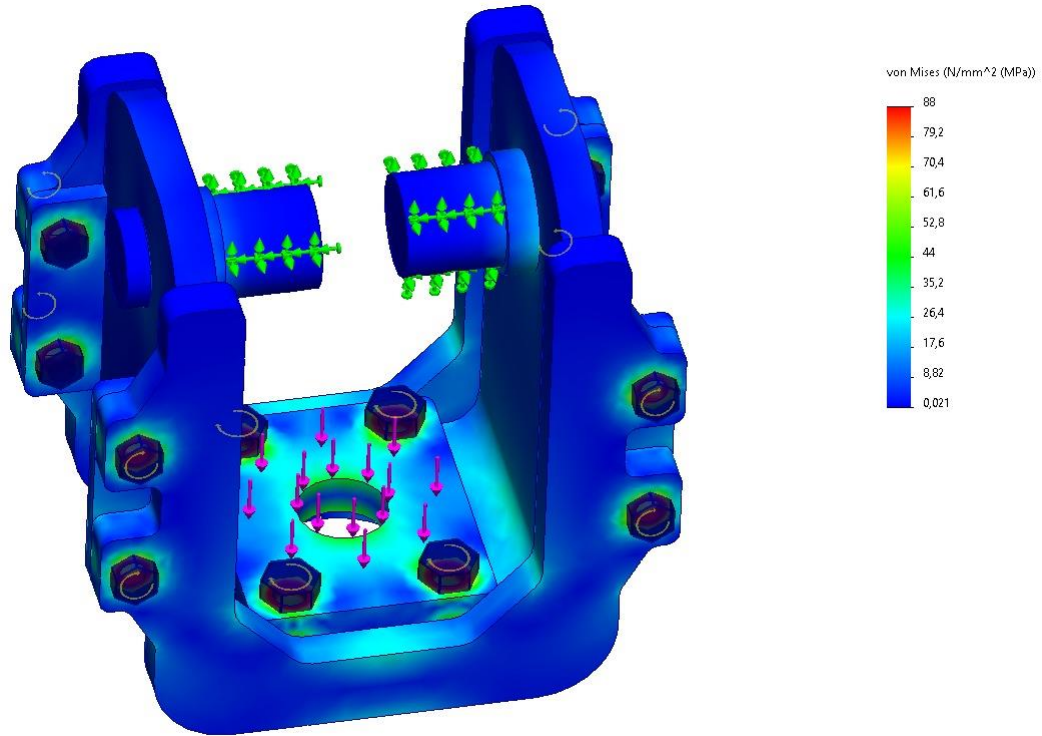


Fonte: autor (2023)

3.3.2 Análise de tensão do corpo

Após definido o dimensionamento do corpo foi realizado a sua análise de tensão no *software CAD (Computer Aided Design) Solidworks Simulation 2023*, sendo aplicado uma solicitação de carga de 1500 Kgf, cuja massa gera uma força de tensão de 14715 N. A matéria-prima aplicada aos componentes do corpo é a ASTM A572 G50 que possui uma resistência tração de 345 Mpa, após definido para o gancho um coeficiente de segurança de valor 4, a resistência passa a ser 86,25 Mpa para esta análise. O método de aplicação da carga e engaste, assim como o gráfico de tensões de Von Misses está representado na Figura 39.

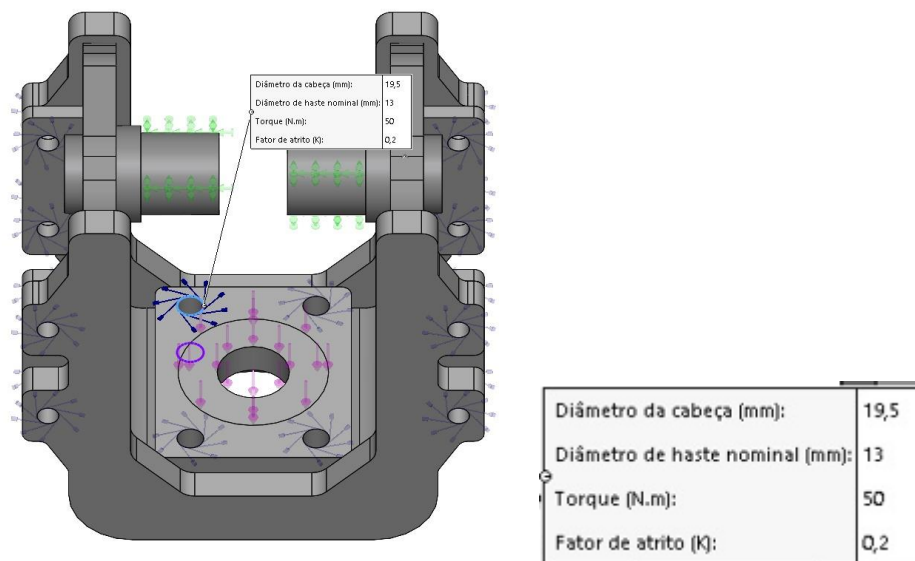
Figura 39 – Aplicação de carga, engate e gráfico Von Mises



Fonte: autor (2023)

Para os locais de montagem dos parafusos M12 foi definido um torque de aplicação conforme representado na Figura 40.

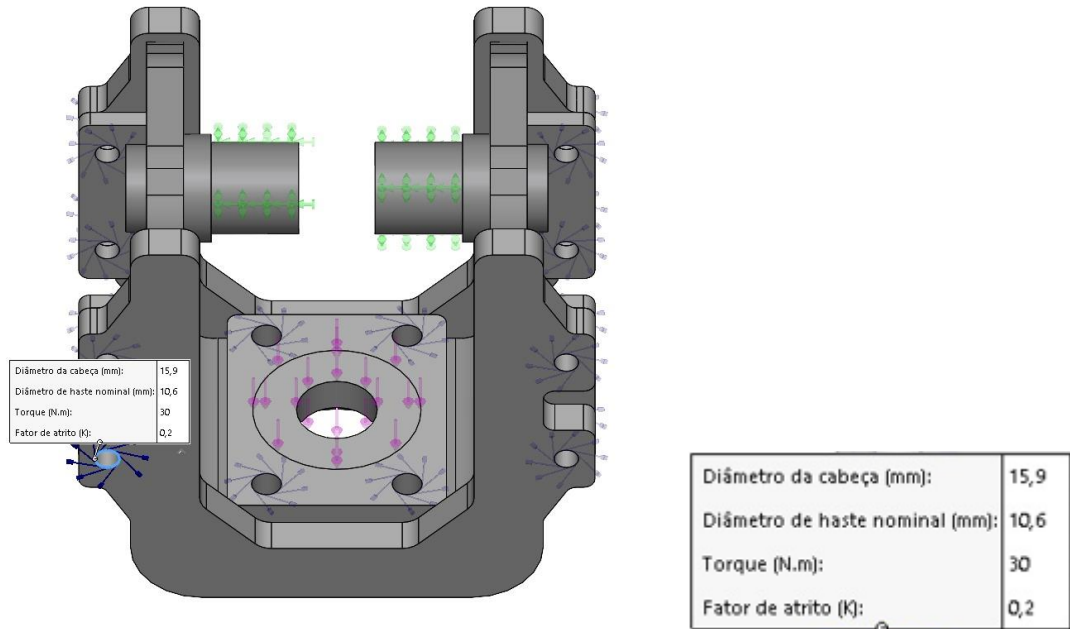
Figura 40 – Aplicação de torque parafuso M12.



Fonte: autor (2023)

Para os locais de montagem dos parafusos M10 foi definido um torque de aplicação conforme representado na Figura 41.

Figura 41 – Aplicação de torque parafuso M10.



Fonte: autor (2023)

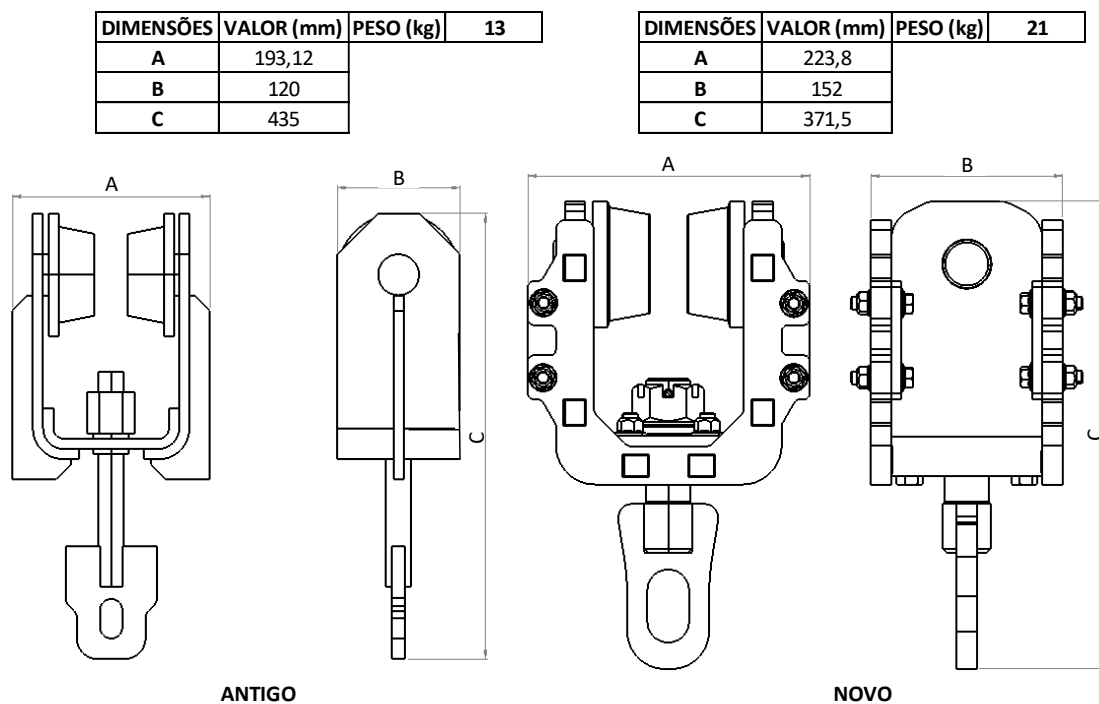
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado os resultados obtidos após a metodologia aplicada ao projeto, assim como a execução do projeto com base nesses dados.

4.1 COMPARAÇÃO DE DIMENSÕES *TROLLEY* ANTIGO X *TROLLEY* NOVO E LIMITANTES DE TRAJETO

Conforme representado no tópico 3.1 as dimensões macroscópicas do *trolley* antigo são de 193,12 mm X 120 mm X 435,00 mm e a proposta para o novo possui 223,80 mm X 152,00 mm X 371,50 mm, tornando o *trolley* novo maior nas medidas A e B e menor na medida C, estas comparações estão representadas na Figura 42.

Figura 42 – Comparação de dimensões.



Fonte: autor (2023)

Em comparação aos pesos, o *trolley* novo ficou mais pesado, com uma massa de 21 kg, sendo 8 kg mais pesado que o *trolley* antigo, sendo essa uma das desvantagens de o tornar mais robusto.

Para o percurso o *trolley* possui medidas dentro do estabelecido para a entrada das cabines pintura e estufa, sendo essas com a medida de 300 mm e o *trolley* possuindo 223,80 mm. Para transitar entre os trocadores de vias o novo *trolley* precisaria estar dentro do limite de largura de 288 mm, sendo esse também efetivado.

O diâmetro de abertura para o olhal do gancho permite o acoplamento das gancheiras de Ø16,00 mm, assim como para a montagem das manilhas do tipo curva pino roscado de grau 6 e bitola 5/8".

4.2 DIMENSIONAMENTOS DE PROJETO

Com base na metodologia aplicada para o dimensionamento de componentes pode-se obter com maior clareza as medidas consideradas para a execução do projeto em *software CAD (Computer Aided Design)*, assim como quais matérias-primas serão aplicadas aos componentes.

Para a definição da matéria-prima considerou-se as que são fornecidas pela empresa e por fornecedores que a empresa possui convênio, possibilitando uma facilidade na execução do projeto, mas além disso fez-se um estudo dessas matérias-primas e suas características de aplicação, dentre elas usinabilidade, soldabilidade e resistências a tração.

O rolamento escolhido 6008 DDU C3 da NSK possui disponibilidade em estoque na empresa e atende aos esforços aplicados, após os cálculos encontrou-se uma vida útil de 2400 horas, sendo essa o limitante para a manutenção e troca dos mesmos.

O rodízio foi fornecido por uma fundição conveniada que os conseguiu disponibilizar em Fofo Nodular GGG50, e após o teste de dureza encontrou-se 188 HB (Brinell), sendo esse valor dentro dos padrões estabelecidos para o GGG50 que é de 170-240 HB.

Para o eixo que irá acomodar os rolamentos e rodízio foi escolhido o aço SAE1045 devido a disponibilidade de estoque dentro da empresa, mas também por possuir uma boa usinabilidade e aplicação geral para eixos, pinos, cilindros, etc.

No dimensionamento do eixo do gancho pode-se efetivar a utilização da matéria-prima escolhida, sendo essa atendida aos requisitos de tensão de escoamento e deformação. O comprimento do eixo pode ser reduzido em comparação ao gancho do *trolley* antigo, de 280 mm para 230 mm, um ganho de 50 mm em comprimento, porém o seu diâmetro teve um aumento, sendo de 25 mm para 38,1 mm, tornando-o um gancho mais robusto.

A bucha aplicada à montagem para a rotação do gancho obteve após a sua têmpera e revenimento em 600°C uma dureza de 250 HB, para a efetividade desse processo foi realizado

o teste de dureza nessa bucha sem a aplicação de têmpera e revenimento que resultou em uma dureza de 138 HB, ou seja, essa bucha apresentou um ganho de 44,8 % de dureza Brinell.

4.3 ANÁLISE DAS TENSÕES

Após as análises de tensões aplicadas ao gancho e ao corpo do *trolley* observou-se que a espessura, matéria-prima e geometria aplicada atendem aos esforços aplicados, sendo os pontos críticos na cor vermelha nas localizações da aplicação de carga.

Na análise do gancho o ponto crítico está alcançando a resistência de 88 Mpa, conforme representado em figuras dos tópicos 3.3.1 e 3.3.2, o que o torna um ponto a ser monitorado conforme os ciclos de aplicação com uma carga de 1500 Kg, sendo essa uma solicitação que pode ocorrer futuramente, mas que no momento é uma carga ainda não aplicável, sendo assim, para as solicitações de cargas atuais a geometria e matéria-prima atendem aos requisitos de projeto.

4.4 EXECUÇÃO DO PROJETO

Neste tópico será apresentado os processos de execução do projeto, sendo esses a representação final dos componentes usinados, cortados a laser, soldados e montados.

Após a usinagem o rodízio obteve a geometria conforme representada na Figura 43.

Figura 43 – Rodízio usinado.



Fonte: autor (2023)

A bucha após a sua usinagem, têmpera e revenimento obteve a geometria conforme representada na Figura 44.

Figura 44 – Bucha temperada.



Fonte: autor (2023)

Após o corte a laser a chapa de união obteve a geometria representada na Figura 45.

Figura 45 – Chapa união.



Fonte: autor (2023)

Após a soldagem da base do gancho, o mesmo obteve uma geometria representada na Figura 46.

Figura 46 – Base gancho.



Fonte: autor (2023)

O gancho após a sua soldagem obteve uma geometria conforme representada na Figura 47.

Figura 47 – Gancho soldado.



Fonte: autor (2023)

A estrutura lateral após a sua soldagem obteve uma geometria conforme representada na Figura 48.

Figura 48 – Corpo lateral soldado.



Fonte: autor (2023)

Para a montagem é realizado o 1º passo que é a montagem dos rolamentos 6008 DDU C3 da NSK e o anel elástico I-68 DIN 472 no rodízio, sendo realizado duas unidades deste conjunto, representado na Figura 49.

Figura 49 – Conjunto rodízio.



Fonte: autor (2023)

O 2º passo é a montagem e travamento do conjunto a cima na estrutura lateral utilizando um anel elástico E-35 DIN471, sendo realizado duas unidades desse conjunto, representado na Figura 50.

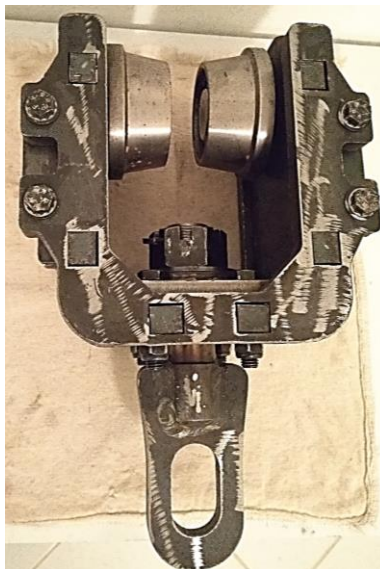
Figura 50 – Conjunto lateral.



Fonte: autor (2023)

O 3º passo é a montagem dos dois conjuntos laterais com as chapas de união, a base soldada com bucha, a bucha temperada e o gancho. Para o travamento do gancho utilizou-se uma arruela de Hardox 450, uma porca castelo 1 3/8" X 12FPP ANSI B18.2.2 e um contrapino de aço Ø3/16"X2.3/4" DIN 94 ZN FE, representado na Figura 51.

Figura 51 – Conjunto *Trolley* completo.



Fonte: autor (2023)

4.5 TESTES EM LINHA

Após a montagem do conjunto *trolley* foi realizado o seu teste em linha de pintura, devido a programação de produção não foi possível realizar o teste para o item mais pesado realizado pela empresa, porém um teste de percurso foi possível de ser realizado.

O primeiro obstáculo encontrado são as curvas da monovia, conforme representado na Figura 52, onde foi efetivado o seu movimento em vias curvilíneas.

Figura 52 – Teste em curvas.



Fonte: autor (2023)

O próximo obstáculo a ser encontrado é os trocadores de monovia, conforme representado na Figura 53, do qual obteve-se um movimento sem divergências e pode-se efetivar esta etapa.

Figura 53 – Teste em trocadores de monovia.



Fonte: autor (2023)

O último obstáculo é a entrada para a cabine de estufa, da qual possui mesma largura da entrada das cabines de pintura, neste obstáculo o *trolley* obteve um movimento efetivo conforme representado na Figura 54, validando assim todo o percurso a ser realizado.

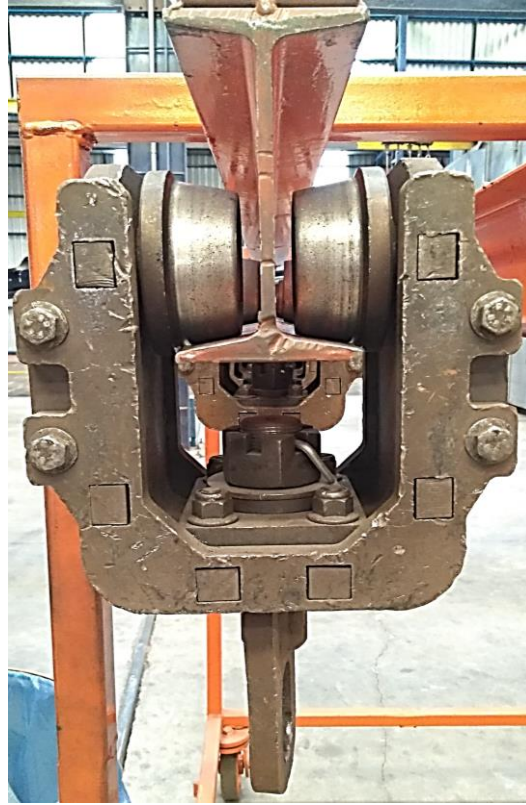
Figura 54 – Teste na entrada de cabine de estufa.



Fonte: autor (2023)

Na Figura 55 está representado o comportamento ou acentuamento do *trolley* sobre a viga I, do qual pode-se observar o seu contato homogêneo sobre a mesma.

Figura 55 – *Trolley* sobre a viga.



Fonte: autor (2023)

5 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos foi possível observar que um *trolley* pode ter a sua capacidade de carga e robustez aumentada sem alterar a sua função primordial e o seu comportamento ao longo de um trajeto original. A aplicação das metodologias e materiais ao dimensionamento e desenvolvimento demonstraram efetividades, por exemplo, o aumento da dureza da bucha de rotação do gancho após o processo de têmpera e revenimento.

Após os dimensionamentos e análises de tensões obteve-se a assertividade de projeto para cargas superiores as que estão sendo solicitadas no presente, tornando-o consolidado por um tempo indeterminado.

A execução do projeto se tornou mais facilitada devido a disponibilidade de matérias-primas, processos de fabricação e fornecimento de componentes que estão presentes na empresa, tornando-o mais versátil, assim como todas as suas manutenções futuras.

Nos testes a campo pode-se observar a movimentação do *trolley*, sendo essa de forma uniforme, transportando as peças ao longo da monovia sem frenagem dos rolamentos e sem colisões com obstáculos do trajeto, tornando o seu movimento efetivo ao longo do percurso.

Para trabalhos futuros destaca-se a redução do peso do projeto para a uma mesma capacidade de carga e realizar novas análises de tensões, obtendo assim um aumento na ergonomia do operador ao elevar o *trolley* até a monovia.

REFERÊNCIAS

SKF. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>>.

SEMAN. Trolley de carga. Disponível em: <<https://www.seman.com.br/materias/trolley-de-carga>>. Acesso em: 4 set. 2023.

Elementos de máquinas / ALESSANDRO DE FRANCESCHI, MIGUEL GUILHERME ANTONELLO. – Santa Maria, RS : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria : Rede e-Tec Brasil, 2014.

NOVIDÁ. Movimentação de Cargas – O que você precisa saber. Disponível em: <<https://www.novida.com.br/blog/movimentacao-de-cargas/>>. Acesso em: 12 set. 2023.

PASSOS, L. d. Apostila: Técnicas de instalação, operação, manutenção testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas. 2011.

MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. 9ªed. Editora Érica. São Paulo 2008

NORTON, R. L. Projeto de máquinas, uma abordagem integrada. Porto Alegre: Bookman. 2013.

Elementos de Máquina (SEM 0241) – MASSAROPPI E, LIRANI J, CARVALHO J, FORTULAN CA (2018).

NACHI. Tipos de Rolamentos e suas Características 1.1 Classificação e Tipos de Rolamentos. Disponível em: <<https://www.nachi.com.br/catalogos/Tipos-de-rolamentos.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2023.

Metalminas Fundição - Qualidade a Ferro e Fogo. Disponível em: <https://www.metalminas.com.br/produtos_normatecnica_nodular.php>. Acesso em: 3 out. 2023.

MANILHA CURVA COMPINO ROSCADO | delucabosdeaco. Disponível em: <<https://www.delu.com.br/manilha-curva-com-pino-roscado>>. Acesso em: 4 out. 2023.

COOPERMETAL. Tudo sobre o aço SAE 1045. Disponível em: <<https://www.coppermetal.com.br/blog/aco-carbono/aco-sae-1045/>>. Acesso em: 20 out. 2023.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

RESTREPO, J. M. V. Efeito do Silício na Cinética da Reação Bainítica em Ferro Fundido Nodular Austemperado. 1° ed. São Paulo: Universidade de São Paulo EP, 1992.

CALLISTER, W. D. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais. 2° ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014;

Tratamento Térmico - Têmpera e Revenimento - MTC Trat. Disponível em: <<https://mtctrat.com.br/tratamento-termico-tempera-e-revenimento/>>. Acesso em: 7 nov. 2023.

Schioppa Rodas e Rodízios - Roda Schioppa DV - DECAUVILLE - FERRO FUNDIDO. Disponível em: <<https://schioppa.com.br/produto/roda-schioppa-dv-decauville-ferro-fundido/>>.

DIN - German Institute for Standardization. Disponível em: <<https://www.din.de/en>>. Disponível em: <<https://ifrs.edu.br/ibiruba/>>. Acesso em: 13 Junho 2019.

Conjuntos Soldados | Polistampo. Disponível em: <http://www.polistampo.com.br/conj_soldados.html>. Acesso em: 10 nov. 2023.

AÇOSPORTE. Aço astm a572. Disponível em: <<https://www.acosporte.com.br/aco-astm-a572>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ASTM A572. Alloy Digest, v. 39, n. 7, 1 jul. 1990b. Disponível em: <https://doi.org/10.31399/asm.ad.sa0448>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SAE 1045, SAE 1045H, SAE 1046, CEN C45, ISO C45. Alloy Digest, v. 72, n. 5, 1 maio 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.31399/asm.ad.cs0247>. Acesso em: 10 nov. 2023.

Tubos Mecânicos Mechanical Tubes. [s.l: s.n]. Disponível em: <https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/20437/24989/catalogo_mecanico_vallourec.pdf>.

Peixoto, Arildomá Lobato. Soldagem / Arildomá Lobato Peixoto. — Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012.

NSK - Motion & Control. Disponível em: <<https://www.nsk-literature.com/en/rolling-bearings/#>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

LTDA, T. E. E C. ABNT NBR 8800 NBR8800 Projeto de estruturas de aço e de estruturas. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/27466/nbr8800-projeto-de-estruturas-de-aco-e-de-estruturas-mistas-de-aco-e-concreto-de-edificios>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

WURTH ONLINE. Disponível em: <<https://www.wurth.com.br/>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

Fundamentos do SolidWorks Simulation - 2012. Disponível em:<https://help.solidworks.com/2012/portuguesebrazilian/SolidWorks/cworks/ID_COSMO_Works_Fundamentals.htm?id=557fba27e7864e43bfa4d040a0947f7a#Pg0>. Acesso em: 21 nov. 2023.